

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

OPTIMALIZACE PROCESU OPAKOVANÉHO PÁJENÍ PŘI OPRAVÁCH
V POVRCHOVÉ MONTÁŽI

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

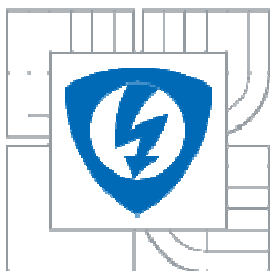
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK VALA

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV MIKROELEKTROTECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

OPTIMALIZACE PROCESU OPAKOVANÉHO PÁJENÍ PŘI OPRAVÁCH V POVRCHOVÉ MONTÁŽI

OPTIMALIZATION OF REPAIR PROCESS IN SURFACE MOUNT TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK VALA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. IVAN SZENDIUCH, CSc.

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav mikroelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Radek Vala

ID: 106850

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace procesu opakovaného pájení při opravách v povrchové montáži

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se zařízením IR-400 a optimalizujte již vytvořené pájecí profily pro pájení a odpájení součástek BGA. Zaměřte se na oblast chlazení a pro ni navrhnete a realizujete chlazení s pomocí přídatného ventilátoru. Definujte potom optimální teplotní profil pro součástky BGA a ověřte ho experimentálně.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Szendiuch I.: Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů, VUT IUM, 2006, ISBN 80-214-3292-6

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 2.6.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt:

Projekt řeší využití zařízení IR 400 pro opravy a montáž součástek pájených bezolovnatými pájkami. Dále se zabývá optimalizací teplotního profilu, který je velice důležitý při výměně součástek, aby nedošlo k poškození součástek nebo samotné DPS. Zabudováním regulátoru teploty R 500 a přídavného chlazení nám umožňuje dokonalejší regulaci teploty v průběhu pájecího cyklu.

Abstract:

This project deals with utilizing of IR 400 equipment for assembly and repair of SMD components soldered by lead-free solder materials. The part of the work concerns with optimizing of the temperature profile, which is very important in the repair to eliminate the damage of components and PCB. There was added controller R 500 and cooling equipment to allow better control of the temperature during the soldering cycle.

Klíčová slova:

Infračervené pájení přetavením, bezolovnaté pájky, pájecí profil, montáž a opravy součástek

Keywords:

Infrared reflow soldering, lead-free solder, solder profile, assembly and repair of components

Bibliografická citace

VALA, R. *Optimalizace procesu opakovaného pájení při opravách v povrchové montáži*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 50 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Optimalizace procesu pájení na zařízení IR-400 jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplívajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ivanu Szendiuchovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

OBSAH:

ÚVOD.....	6
1 O PÁJENÍ A PÁJKÁCH.....	7
1.1 Pájení.....	7
1.1.1 Poruchy při pájení.....	7
1.1.2 Pájitelnost	7
1.1.3 Spolehlivost pájeného spoje	8
1.2 Pájení přetavením	8
1.2.1 Pájení infračerveným ohřevem.....	10
1.2.2 Možnost dodání přídatné energie do procesu pájení	10
1.3 Pájky.....	11
1.3.1 Olovnatá pájka SnPb	11
1.3.2 Bezolovnaté pájky	11
2 PÁJENÍ PŘI OPRAVÁCH („REPAIR“ A „REWORK“)	13
2.1 Rework	13
2.2 Repair	13
2.3 Požadavky na výměnu součástek	14
2.4 Oprava vodičů a pájecích plošek.....	15
2.5 Oprava prokovených otvorů.....	16
2.6 Opravy ochranných povlaků.....	16
2.7 Rework pouzder BGA pájením infračerveným ohřevem.....	17
2.7.1 Zajištění strmosti a prodlevy teplotního profilu (předehřev DPS).....	17
2.7.2 Vypájení komponent	17
2.7.3 Čištění a odstraňování zbytků nečistot po pájení	18
2.7.4 Osazení nového pouzdra BGA	18
2.7.5 Ekonomické výhody IR ohřevu.....	19
3 OPRAVÁRENSKÁ STANICE IR-400	21
3.1 „Tmavé“ IR zářiče	21
3.2 Technické údaje	21
4 REGULÁTOR R 500	23
4.1 Základní parametry regulátoru	23
4.2 Činnost regulátoru v průběhu regulačního cyklu	25
4.2.1 Program řízený pouze časem.....	25
4.2.2 Program řízený strmostí a časem.....	26
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	27
5.1 Realizace přídatného chlazení	27
5.1.1 Návrh a konstrukce chlazení.....	27
5.2 Optimalizace pájecích profilů v oblasti chlazení.....	32
5.2.1 Testovací desky plošných spojů	32
5.2.2 Měření teplotního profilu	34
5.3 Experimentální zapájení BGA pouzdra.....	39
6 ZÁVĚR.....	45
7 POUŽITÁ LITERATŮRA	46
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	48
SEZNAM POUŽITÝCH SKRATEK.....	49
SEZNAM PŘÍLOH	50

ÚVOD

Tato práce se zabývá inovací opravárenské stanice IR 400 a optimalizací pájecích profilů v oblasti chlazení, se zaměřením na součástky BGA. Po teoretickém úvodu a zpracování přehledu o pájení a pájkách bylo pro tuto stanici navrženo přídavné zařízení na úpravu teplotního profilu v oblasti chlazení. Průběh chlazení je velmi důležitým parametrem ovlivňujícím strukturu spoje, což může mít zásadní dopad na spolehlivost a životnost pájených spojů. Proto je optimalizace pájecích profilů neustále aktuální a nutná pro každý konkrétní případ. V průběhu řešení byl ověřován vliv jak pro pájku olovnatou, tak pro pájku bezolovnatou a to z důvodů porovnání jejich vlastností.

Jedním z aktuálních problémů výrobců elektronických sestav je spolehlivost a výtěžnost montáže pouzder BGA, včetně jejich výměny. Proto je práce zaměřena na jejich opravy, s využitím modifikované a optimalizované opravárenské stanice IR 400, která využívá pro pájení přetavením infračervený ohřev.

Optimalizace v této práci v sobě zahrnuje nejen úpravu a vytváření nových přístrojů a zařízení, ale především experimentální ověřování pájecích profilů s cílem dosáhnout optimální technologický postup.

1 O PÁJENÍ A PÁJKÁCH

1.1 Pájení

Pájení je proces, při kterém dochází pomocí pájky ke spojování dvou kovových materiálů. Při tomto procesu dochází k tomu, že se atomy kovů a pájky dostávají velmi blízko k sobě a tím dochází k účinkům přílnavých a soudržných sil. Při pájení dochází k rozpouštění pájky i spojovacích materiálů. Aby tento proces proběhl správně, musíme dbát na správnou čistotu spojovaných materiálů. Při správném procesu pájení by mělo dojít k vytvoření mechanicky pevnému a dlouhodobě stálému spoji [1].

Požadavky na pájený spoj:

- dobrá pájitelnost spojovaných materiálů
- kompatibilita v pájecím procesu
- minimální smáčecí teplota

1.1.1 Poruchy při pájení

Během pájení mohou vznikat chyby:

- chybějící součástka
- špatně zapájená součástka
- vadná součástka
- součástka ve špatné poloze nebo otočená součástka
- zkrat nebo nadbytek pájky ve spoji
- rozptýlení pájky (tvorba kuliček)
- zvedání součástek
- narušení pájeného spoje (trhliny, krátery, apod.)
- poškozená pájecí plocha, substrát, znečištění zbytky tavidla

1.1.2 Pájitelnost

Je vlastnost, kterou zohledňujeme v průmyslovém pájení. Vlastnost jak je materiál smáčen v roztavené pájce.

Pájitelnost rozdělujeme do tří částí:

- **odolnost vůči teple při pájení** (jak lze teplotně namáhat danou součástku, aby nedošlo k poškození její funkce)
- **smáčivost** (jak povrch umožní smáčení materiálu roztavenou pájkou za dobu pro vytvoření pájeného spoje)
- **teplotní požadavek** (pájené součástky umožní ohřev dané plochy pro pájení za určitou dobu a danou teplotu)

Při smáčení tuhého povrchu se roztavená pájka rozlévá po povrchu, zmenšuje tím volnou plochu. Tím pájka získá tvar tam, kde má minimální povrchovou energii.

Špatná pájitelnost povrchu se způsobuje v elektronické výrobě až 70% defektů. Proto je vhodné optimalizovat pájecí proces, aby nedocházelo k těmto defektům. Spoj je tím kvalitnější, čím má pájený povrch větší smáčivost (má menší povrchové napětí) [1].

Smáčení povrchu rozdělujeme na čtyři části:

- **smáčivý povrch** (projevuje se pokrytím celého povrchu pájkou. Proces smáčení je kvalitnější, čím je povrch hladší a rovnější)
- **částečně smáčivý** (nedokonale pokrytí povrchu pájkou. Jsou zde oblasti, kde je povrch smáčivý a nesmáčivý)
- **nesmáčivý povrch** (povrch není pokryt pájkou. To je způsobeno oxidací povrchu nebo špatné použití málo aktivního tavidla)
- **odsmáčivý povrch** (na povrchu vytvoří pájka kapky) [1]

1.1.3 Spolehlivost pájeného spoje

Jedná se o nejdůležitější prvek v elektrotechnické výrobě. Správný pájený spoj by měl mít vzhled konkávního kuželu. Povrch pájky by měl být hladký, lesklý, dokonale by měl smáčet vývod součástky a plošku, na kterou je pájen. Takto vypadající spoj má dobrou pevnost.

1.2 Pájení přetavením

Druhy pájení přetavením:

- pájení horkým vzduchem
- pájení na horké desce
- infraohřev
- pájení pomocí laseru

- kondenzační metoda
- kontaktní metoda
 - vyhřátým nástrojem
 - vyhřátým pásem

Principem této metody je nanášení pájky ve formě pájecí pasty na pájecí plošku. Následně se osadí součástka a po té proběhne proces přetavení. Přetavení proběhne danou teplotou vyšší, než je bod tání pájky.

Proces přetavení ovlivňujeme teplotním profilem. Je to průběh teploty na čase. Dá se říci, že proces přetavení optimalizujeme do pěti částí. Největší teploty dosahujeme v bodu přetavení, samozřejmě, že je velice důležitý náběh teploty z počáteční (pokojové) teploty.

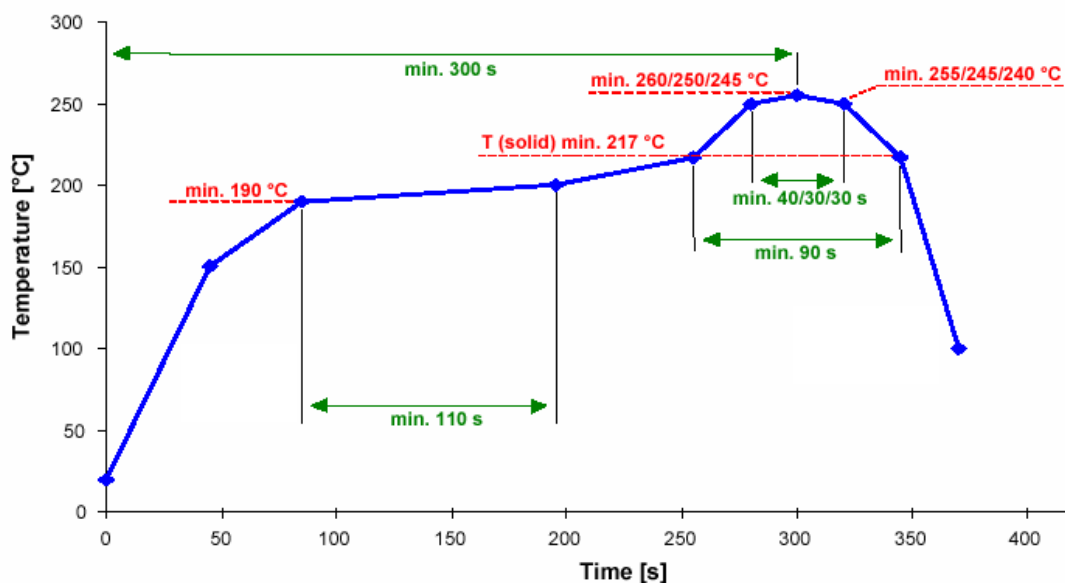
Základní parametry pájecího profilu:

- náběh na teplotu předehřevu
- teplota a doba předehřevu
- teplota přetavení (ta je maximální)
- doba nad teplotou liquidu
- chlazení

Tyto faktory ovlivňují vznik pájeného spoje, to ovlivňuje jeho spolehlivost a životnost. Optimalizováním teplotního procesu lze dosáhnout kvalitnějšího spoje. Takto zoptimalizovaný postup by měl projít praktickým testem, jestli bylo vše optimálně nastaveno.

Při nanášení pájecí pasty na kontaktní plošky musíme dbát na rozměry součástek, aby bylo zajištěno dostatečné množství této pasty na ploškách. Před procesem přetavení nám tato pasta plní funkci lepidla. Součástky nám pak drží na určených místech až do daného procesu přetavení. Nesmíme zapomenout zohlednit velikost a barvu součástek, i to ovlivňuje správný proces pájení.

Nejdůležitější částí je nastavení správného profilu přetavení, který musí být nastaven tak aby pájku přetavil a nepoškodil DPS nebo součástky na ní osazené [1].



Obr. 1: Teplotní profil pro pájení přetavením s vyznačením důležitých parametrů [1]

1.2.1 Pájení infračerveným ohřevem

Tuto metodu využívá zařízení IR-400 (opravárenská stanice), která používá infračervené zářiče jako zdroj tepla pro pájení přetavením. Zářiče jsou umístěny nad i pod nosičem desky se součástkami. Princip je podobný jako u průběžných pecí, jen s rozdílem, že deska se nepohybuje. Tento ohřev funguje jen bodově na určité části, kterou chceme opravit nebo zapájet. Abychom docílili podobné funkce jako u pece, je zde přidán regulátor který nám umožní vytvořit teplotní profil, jako u pece. Rozdíl je ten, že používáme jen jednu zónu narozdíl od pece, která jich může využívat více.

Při pájení infračerveným zářením dochází k vyzařování tepla a k jeho následné absorpci, jež je právě závislá na již dříve zmíněné barvě povrchu, který teplo pohlcuje. Z toho vyplývá, že součástky s tmavším povrchem jsou více zahřívány, než místa kde je nanášena pájecí pasta. Tím nám na desce vznikají teplotní rozdíly, které nám znatelně mohou ovlivňovat kvalitu pájených spojů a tak i tepelnému namáhání součástek.

Tato metoda pájení má vysokou účinnost až 70%. Další pozitivní vlastnost je snadná obsluha a aplikovatelnost metody [1].

1.2.2 Možnost dodání přídatné energie do procesu pájení

Experimentální práce naznačily, že stěžejní fází procesu pájení je doba tvorby spoje, včetně periody chlazení. Proto nelze opomenout možnost ovlivnit část procesu vytváření struktury spoje dodáním přídatné energie, např. ultrazvukové.

1.3 Pájky

Pájky nám slouží k propojování vodivých spojů v elektrotechnice. V dnešní době se realizuje spojení olovnatou a bezolvnatou pájkou. Z ohledem na ekologii prostředí se olovnatá pájka používá jen v některých odvětvích v průmyslu. Pájené spoje lze najít v každém elektronickém zařízení. Kromě pájených spojů se používají také kontaktování mikrodrátkem za pomoci ultrazvuku a nebo termokompresí. Dále by se dala využít i metoda lepených spojů. Pájky dělíme na:

- olovnaté
- bezolvnaté

1.3.1 Olovnatá pájka SnPb

Tuto pájku řadíme k olovnatým. Pájka byla v minulosti využívána řadu let pro své dobré fyzikální a chemické vlastnosti, vyhovující spolehlivost i cenu. Vzhledem k její spotřebě, toxicitě a likvidaci byla Evropskou unií zakázána. V některých průmyslových oblastech je však pro její používání udělena výjimka.

V elektrotechnice se nejčastěji používá pájka s podílem 60 – 63 hmotnostních % cínu Sn a 37 – 40 hmotnostních % olova Pb. Teplota tavení této pájky je velmi nízká 183 – 189 °C, proto neohrožuje teplotou součástky ani desku. Cín, který obsahuje má velmi dobré smáčecí schopnosti, oxidy cínu lze odstranit méně agresivními tavidly. Tato pájka je dnes nahrazována jinými slitinami [1], [2].

1.3.2 Bezolvnaté pájky

Snaha o náhradu pájecí slitiny Sn63Pb37 je nejeden z důvodů toxicity, ale i pevnosti pájeného spoje. Bezolvnaté pájky mají větší podíl cínu ve slitině a potřebují vyšší teplotu pájení, mají větší tendenci k oxidaci i teoreticky lepší smáčecí charakteristiky. Odpovídající smáčecí charakteristiky se ale uplatní pouze v dusíkové atmosféře [2].

Nahrazení olovnaté pájky není jednoduchý úkol, snažíme se dostat bezolvnatou pájku se stejnými vlastnostmi. To se řídí podle několika kritérií:

- dobré mechanické a elektrické vlastnosti pájených spojů
- kvalita (jakost) pájených spojů
- technologický postup zpracování

Tabulka 1: Standardní typy pájek pro elektroniku [1]

Teplota tavení (°C)	Pasta	Tyčová pájka	Trubičková pájka
<180	Sn42Bi58 Sn58Bi42 Sn50Bi40 Sn48Bi52	Sn70Bi30 Sn60Bi40 Sn42Bi58 Sn48Bi52	Sn60Bi40 Sn42Bi58 Sn50Bi50 Sn48Bi52
180-200	Sn89Zn8Bi3 Sn90Bi9,5Cu0,5 Sn77,2In20Ag2,8 Sn63,6In8,8Zn27,6	Sn90Zn10 Sn91Zn9	Sn91Zn9
200-230	Sn96,5Ag3,5 Sn96Ag4 Sn95,4Ag3,4Cu1,2 Sn92,1Ag3,4Cu1,2Bi3,3 Sn95,5Ag4Cu0,5	Sn96,5Ag3,5 Sn96Ag4 Sn96,4Ag3,6 Sn95Ag3,5Cu0,5 Sn93,6Cu1,7Ag4,7	Sn96,5Ag3,5 Sn96Ag4 Sn97,8Cu0,7Sb1,5 Sn95Ag3,5Cu0,5 Sn93,6Cu1,7Ag4,7
>230	Sn99Sb1 Sn95Sb5 Au80Sn20 Sn97Cu3 Sn65Ag25Sb10	Sn98Sb2 Sn97Sb3 Sn95Sb5 Sn96Sb3Cu1 Sn93Sb2Cu1Ag2Zn2	Sn94,5Ag5,5 Sn90Ag10 Sn91,9Ag9In0,1 Sn87Ag10Cu3 Sn65Ag25Sb10

Prvky pájecích slitin:

Cín (Sn) – základní materiál tvořící pájku

Měď (Cu) – dobrá vodivost, dobrou směšivost povrchu a mechanickou pevnost

Antimon (Sb) – vykazuje toxické působení na lidský organizmus

Bismut (Bi) – mění teplotu tavení slitiny, průměrná snášivost

Stříbro (Ag) – drahý kov, dobré elektrické vlastnosti je užíván jako složka bezolovnatých pájek, vysoká cena

Indium (In) – snižuje bod tání ve slitině, jeho teplota tavení je 156°C, dobrá snášivost povrchu, cena je vyšší jak u stříbra

2 PÁJENÍ PŘI OPRAVÁCH („REPAIR“ A „REWORK“)

S postupným vývojem součástek dochází k jejich miniaturizaci, tím je umožněn vyšší počet součástek na desce. Montáž je pak posunována téměř za hranice svých možností. Miniaturizace má však i své stinné stránky, především se projevuje na kvalitě spojů, kde jsou plošky pro zapájení taky zmenšovány. Tyto faktory pak ovlivňují kvalitu a pevnost spoje. V průběhu montáže může docházet k chybám, které je potřeba během výroby odhalit a opravit. Opravu rozdělujeme na dva druhy:

- Rework – oprava, která probíhá před závěrečnou zkouškou výrobku
- Repair – oprava, která probíhá po závěrečných zkouškách výrobku

2.1 Rework

Zahrnuje operace v montážním procesu, a to jak před procesem pájení, tak i po něm. Množství dodatečné práce je nepřímo úměrné úrovni a zvládnutí technologického procesu. Úkolem dodatečné práce je odstranění kvalitních nedostatků vzniklých v daném procesu.

Dodatečnou práci před procesem pájení se musí odstranit následující nedostatky:

- špatně natisknutá, nadávkovaná pasta nebo lepidlo
- špatně osazené nebo neosazené součástky

Dodatečná práce po procesu pájení musí odstranit následující nedostatky:

- špatné zapájení vývodů (odstranění přebytků pájky (zkraty, můstky) přidání pájky)
- mimotoleranční plochou součástky (pootočení/zvednutí aj.) [2]

2.2 Repair

Zahrnujeme sem výměnu poškozených nebo nefunkčních součástek a také opravy DPS. Opravy probíhají po procesu pájení, funkčního testování i vlastní servisní činnosti.

Opravy lze dělit do dvou oblastí:

- opravy montážní a propojovací struktury
 - opravy vodičů a pájecích plošek, pokovených otvorů a ochranných povlaků na DPS
- opravy montážní a propojovací sestavy
 - demontáž a montáž součástek (výměna nefunkčních nebo mimotolerančních součástek)

Pozn.: Počty oprav na DPS by neměli překročit podnikové normy. Např. max. 5 oprav na DPS do 100cm², max. 10 oprav na DPS od 100 do 300 cm² atd. [2]

2.3 Požadavky na výměnu součástek

Pro povrchovou montáž můžeme používat: laser, horký vzduch a infračervený ohřev. Horký vzduch je nejrozšířenější proces, ale laser je technologie ideální pro opravy povrchové montáže umožňující pracovat na DPS s velmi velkou hustotou osazených součástek. Bez ohledu který typ zařízení použijeme, je potřeb dbát, aby nedošlo tepelnému poškození DPS se součástkami. Proto je třeba pečlivě teplotu na DPS sledovat.

Požadavky na opravu bych shrnul do několika následujících kroků:

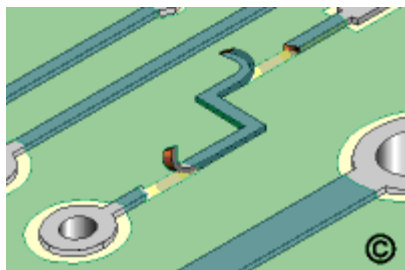
1. Při použití zařízení horkého vzduchu, je třeba dbát, aby se zabránilo tepelnému poškození přilehlých částí nebo substrátu. V tomto případě se ukazuje výhoda laseru, protože neohrožuje poškození přilehlých částí.
2. Při používání pájecího hrotu nebo dalšího podobného zařízení musíme dávat pozor abychom na DPS nepůsobili moc velkým tlakem, ale spíš tento tlak minimalizovali.
3. Nahrazování součástek by se mělo omezit na minimum (výměna by se neměla provádět víc jak dvakrát), to aby se zabránilo tepelným poškozením plošného spoje.
4. Mělo by se dbát na předehřev substrátu pro lepší vyjmutí součástky, a to zejména pokud je daná součástka spojena s chladičem a nebo pokud má silnější vedení.
5. Při ruční opravě by neměla teplota hrotu překročit 370 °C po dobu 3 sekundy při odpájení nebo zapájení. Delší doba nebo větší teplota hrotu zvyšuje riziko tepelného poškození.
6. Odpájení horkým vzduchem by mělo být zajištěno přímého proudění horkého vzduchu na danou součást kterou chceme vyměnit. Delší dobou působení horkého vzduchu, může způsobit vyblednutí a deformaci DPS.
7. Součásti by měli být po vyjmutí pečlivě vyčištěny aby bylo možné součástku znovu zapájet.

8. Pokud dojde při odpájení k poškození cest na DPS musí být před opětovným zapájením opraveny, aby došlo k vodivému spojení všech součástí na DPS [2], [3].

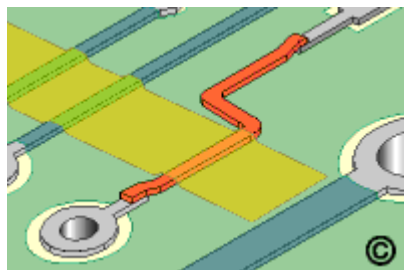
2.4 Oprava vodičů a pájecích plošek

Provádíme ji dvěma způsoby:

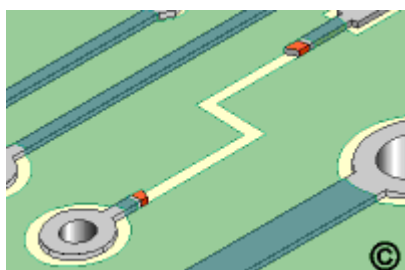
- přilepením chybějících plošek a vodičů k substrátu a následným pájením provedeme elektrické propojení pocínovaného konce vodiče s nepoškozeným motivem na DPS. K lepení se používá jednosložkové lepidlo v tekuté nebo tuhé formě [2].



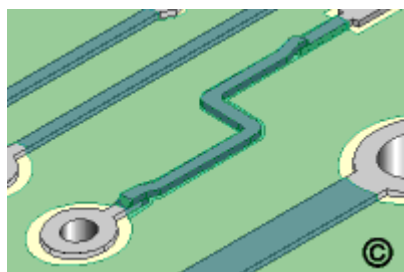
Obr. 2: Poškozená cesta [3]



Obr. 4: Vytvarování nové cesty [3]



Obr. 3: Odstranění poškozené cesty [3]

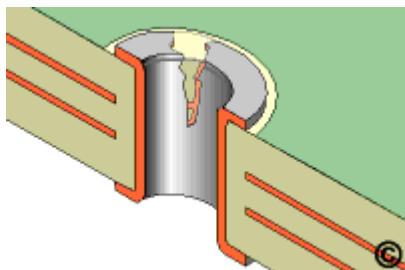


Obr. 5: Vodivé spojení cesty [3]

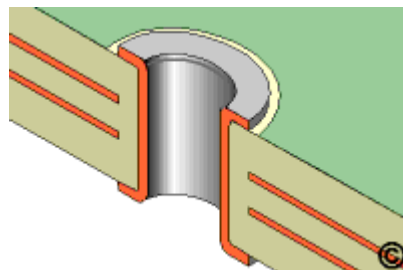
- nekontaktováním chybějícího vodiče na plošku/vodič pomocí mikrosváru a následná mechanická fixace k substrátu pomocí speciálního elektroizolačního lepidla [2]

2.5 Oprava prokovených otvorů

Tato oprava se dá provádět jen pro dvouvrstvé desky. Provádí se dutým nýtem nebo drátem. U více vrstvách desek se tato oprava nedoporučuje.



Obr. 6: Poškozený prokov [3]

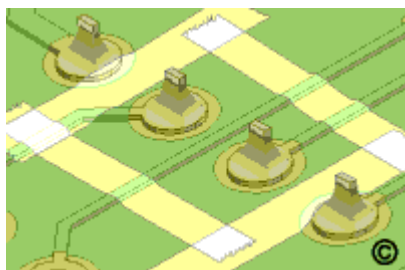


Obr. 7: Opravený prokov [3]

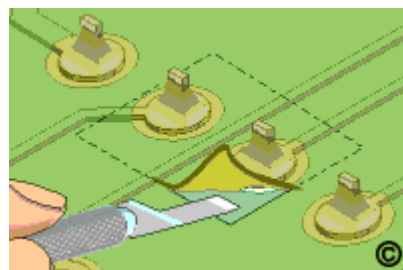
2.6 Opravy ochranných povlaků

Pro odstranění povlaku musíme nejprve určit, o jaký povlak se jedná. Následně pak můžeme určit metodu, kterou povlak lze odstranit. U povlaku nás zajímají vlastnosti jako tvrdost, transparentnost, rozpustnost atd.

Pokud chceme odstranit povlak vybereme nejprve tu část kterou chceme odstranit. Takhle vybranou oblast odstraníme buď rozpouštěním, broušením, oškrabáním atd.



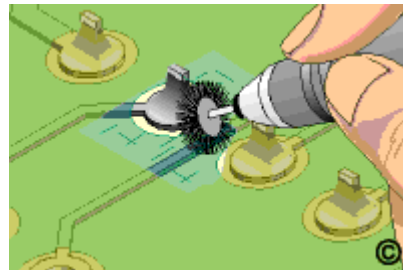
Obr. 8: Vybrání místa pro odstranění povlaku [3]



Obr. 10: Odstranění pomocí nože [3]



Obr. 9: Použití rozpouštědla s pěnou [3]



Obr. 11: Odstranění povlaku broušením [3]

2.7 Rework pouzder BGA pájením infračerveným ohřevem

Infračervený ohřev je pro pájení nebo odpájení aplikace BGA bezpečnější, jednodušší a dá se vícekrát opakovat než u jiné technologie. V dnešní době trendu zmenšování elektronických zařízení se většina výrobců uchyluje k nahrazení pouzder PLCC a QFP právě BGA. BGA jsou lepší na umístění (do určité míry se samy vycentrují). Nabízí více funkcí a jsou v menším provedení.

BGA dělají problém hlavně při opravách. Není u nich tak snadno vidět pájený spoj a vývody nejsou jednotlivě opravitelné jako u SMD součástek. BGA pouzdra jsou náchylnější na teplotu. Jejich oprava je hodně obtížná a proto se tyto pouzdra často neopravují.

Použití infračervené (IR) technologie pro pájení/odpájení BGA nabízí opakovatelnost, bezpečnost a nenáročné využívání vzhledem k efektivnosti nákladů na opravy a procesní dokončování. S ručním pájením nebo odpájecím IR zařízením může být proces dokončování při výrobě jednodušší a díky nekontaktnímu zahřívání, bezpečnější pro DPS a všechny typy součástek BGA. Při užití IR je proces v podstatě stejný jako u horkého plynu nebo pájedla, ale IR je bezpečnější a úspornější [1], [2].

2.7.1 Zajištění strmosti a prodlevy teplotního profilu (předehřev DPS)

Zkušenost ukazuje, že při výměně a odstranění BGA komponenty je nejdůležitější přesně daný její teplotní profil tak, aby mohla být správně řízena teplota (strmost a prodleva průběhu). Hlavně nesmí být BGA předehřívána stejně jako SMT komponenty. Při ohřevu BGA operátor zahřívá nejprve tělo součástky než se přetaví pájené spoje, a proto musí být dodržen doporučený gradient nárůstu 2-3°C/sek. Jestliže není prodleva dostatečná, nebudou všechny pájkové kuličky dobře zahřáté a pájka se dostatečně nepřetaví.

Po mnoha nezdarech, zkouškách a omylech se začalo v průmyslu zavádět jako první krok k správné výměně BGA předehřívání DPS. Deska je bez předehřevu náchylná k deformacím. Pro efektivní odstranění BGA musí být zajištěn předehřev. Jakákoliv jednotka, ať už je to IR nebo horký vzduch, musí mít spodní předehřev nebo alespoň předehřívací stupeň [2].

2.7.2 Vypájení komponent

Existuje celá řada horkovzdušných stanic pro odstraňování BGA. Klíčem k tomu, aby při přetavení pájky nedošlo k poškození součástek nebo substrátu je potřeba regulace teploty. Co dělá proces oprav horkým vzduchem problematickým a nákladným je potřeba trysky pro každý typ BGA zvlášť. Některé trysky foukají vzduch nad a pod DPS, jiné vodorovně

a některé foukají vzduch pouze na horní část. V závislosti na typu BGA, citlivosti okolních součástek a jejich blízkosti je výběr trysek kritický a drahý. Jednotlivé trysky musí být již zakoupeny pro použití u konkrétních sestav.

Při použití ručního IR zařízení, vzhledem k zaměření záření, není nutné vybírat a kupovat drahé trysky. Bez trysek a návrhů na snížení ceny je proces celkově rychlejší a odstraní se tím proměnná, která může komplikovat pájení nebo odpájení. Odstraňování BGA je pomalejší než odstraňování SMD součástek. Celý proces trvá 8-10 minut na jednom zařízení [2].

2.7.3 Čištění a odstraňování zbytků nečistot po pájení

Čištění přepracované oblasti před nasazením BGA je někdy opomíjený, přesto je to zásadní krok. Pokud nejsou odstraněny zbytky po předešlém pájení nebude nově osazovaná BGA správně přepájena a výrazně se také zvyšuje nebezpečí poškození substrátu a nepájivé masky. Tradiční pájecí nebo odpájecí páječky a horkovzdušné stanice vyžadují vysoce kvalifikované techniky. Jestliže se páječka dotýká komponenty nebo substrátu může být zničena celá montáž, okamžitě se poškodí pájecí plošky i podklad.

Jelikož se IR zařízení nedotýká DPS nenastává nebezpečí poškození pájecích plošek přilehlých komponent. Technici zaměří zařízení do dané oblasti a odsávacím knotem odstraní přebytečné množství pájky. Předtím než opatrně přiložíte knot k odsátí pájky je nutné oblast zahřát. Je důležité umístit tento knot mezi páječku a desku. Pokud není použit ruční IR nástroj, který nemá kontakt s deskou je malá nebo žádná šance poškození desky nebo komponenty.

Po odstranění zbytků pájky je třeba vyčistit samotné tavidlo [2].

2.7.4 Osazení nového pouzdra BGA

Při výměně součástky je ale nutná lepší kontrola teploty, aby byl proces rework plnohodnotný. S použitím ručního IR pájení nebo odpájení jednotky může být zahřívání postupné a lze jej rychle odstranit. Opět platí, že rozhodující jsou strmost náběhu a čas prodlevy. I když je pravda, že keramické BGA absorbují více tepelné energie než plastové, tj. 2°C/sec, je dobré dodržovat zásadu bez ohledu na typ BGA. Stejně jako u odstraňování původní komponenty je nutný předeheřev pro zabránění zhroucení nebo ohybu desky.

Díky vlastnosti BGA se samovystředění, může být jeho výměna provedena manuálně zkušeným technikem bez speciální optiky. Mnoho společností upřednostňuje sladění sledovacího systému s vakuovou pipetou na pomoc pro lepší zarovnání a umístění komponenty.

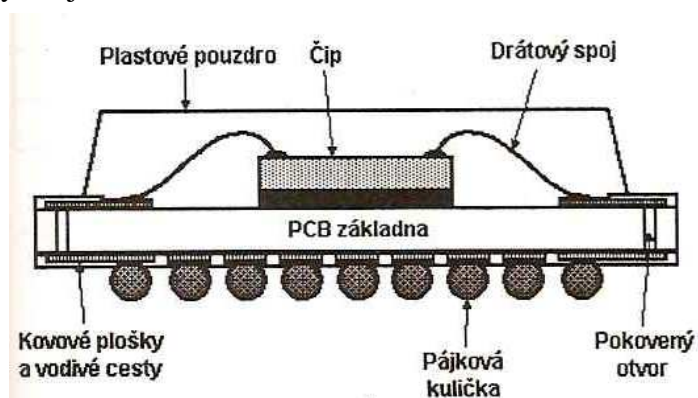
2.7.5 Ekonomické výhody IR ohřevu

Použitím IR ohřevu se zjednodušuje proces výroby i oprav oproti horkovzdušné technologii. Problémem horkovzdušné technologie je poskládáním trysek pro jednotlivé aplikace, proto je tato technologie ekonomicky náročnější. Obě dvě metody jsou založeny na teorii, že určité množství odpadu je nevyhnutelné: tzn. společnosti musí mít vyvážený systém ceny za opravy.

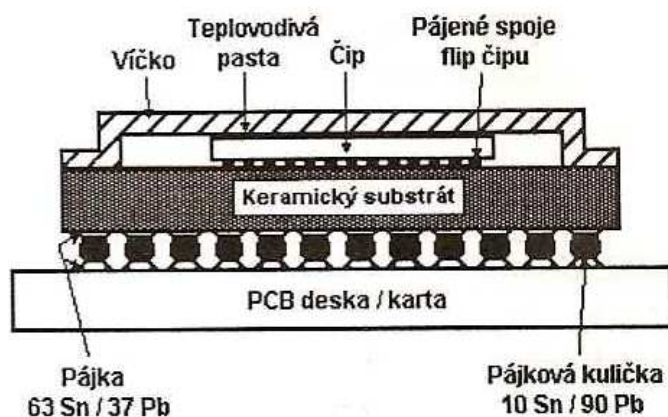
Technologie IR zářičů je ekonomicky výhodnější pro montáže i opravy. Tyto IR zářiče šetří peníze, protože nepotřebují na každou aplikaci jiný druh nástavce s tryskami. U velkých zakázek může tato „jednoduchá“ koncepce ušetřit stovky tisíců.

Pasivní IR ohřev snižuje riziko poškození desek a komponentů, čímž se zvyšuje procento opravených montáží. Na jedné straně je růst a na druhé straně snižování celkových nákladů na montáže.

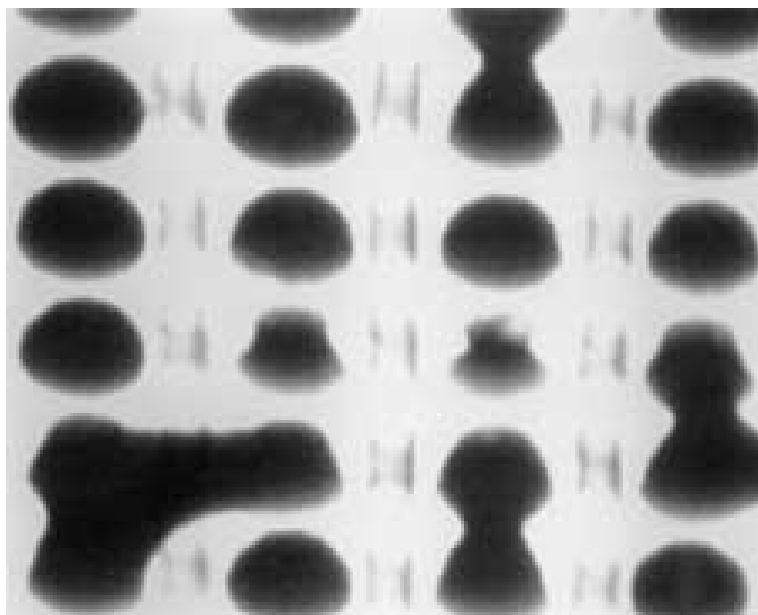
Vzhledem k bezpečnosti IR záření se nemusí technici příliš zabývat poškozením součástek a mají více času na dokončení opravy. Čas jsou peníze: méně času na opravy se rovná nižší náklady a rychlejší obrát.



Obr. 12: Plastové provedení pouzdra BGA [1]



Obr. 13: Keramické provedení pouzdra BGA [1]



Obr. 14: Zkrat mezi vývody BGA

3 OPRAVÁRENSKÁ STANICE IR-400

Jedná se o výrobek od firmy ERSA, poloautomatickou stolní opravárenskou stanicí pro opravy DPS s kovovými propoji a DPS a SMD. Toto zařízení je svým systémem unikátní ve své třídě. U tohoto zařízení se nevyužívá zvláštních trysek nebo výměnných hlav pro různé typy součástek, ale využívají takzvaných Dark IR zářičů. Toto zařízení umožňuje až 6 rozšíření druhů nástrojů sloužící pro výměnu, opravy a pájení.

3.1 „Tmavé“ IR zářiče

Integrace „tmavých“ (dark) IR zářičů je u ideálních systémů nutná na rovnoměrný ohřev a kontrolu procesu instalace SMT aplikací. Pro porovnání se systémy používajícími viditelné IR (krátké vlnové délky), jsou IR zářiče speciálně navrženy pro aplikace na DPS. Viditelné IR záření není rovnoměrně absorbováno nebo odráženo u objektů tmavší barvy (těla součástek, substrát) a objektů světlejší barvy (vývody součástek). Objekty tmavší barvy absorbují více IR záření krátké vlnové délky než objekty světlejší barvy, které je odrážejí. To může vést k přehřívání těl součástek a substrátu ještě před dosažením teploty přetavení pájky.

Vrchní i spodní ERSA IR zářiče pracují ve střední vlnové délce, 2-8 μ m, při které je optimální rozložení absorpce nebo odrazu záření mezi tmavými a světlými objekty. Těla součástek, substrát a vývody jsou bezpečně a rovnoměrně prohřáty, což snižuje riziko poškození při procesu pájení a odpájení [8].

3.2 Technické údaje

Napájení horního IR zářiče: 200W (velikost: 60 x 60 mm)

Napájení spodního IR zářiče: 400W (velikost: 120 x 120 mm)

Příkon: IR 400A: 380W

Vlnová délka IR zářičů: 2-8 μ m

Napájecí napětí: Primární: 230 V nebo 150 V, 50-60 Hz

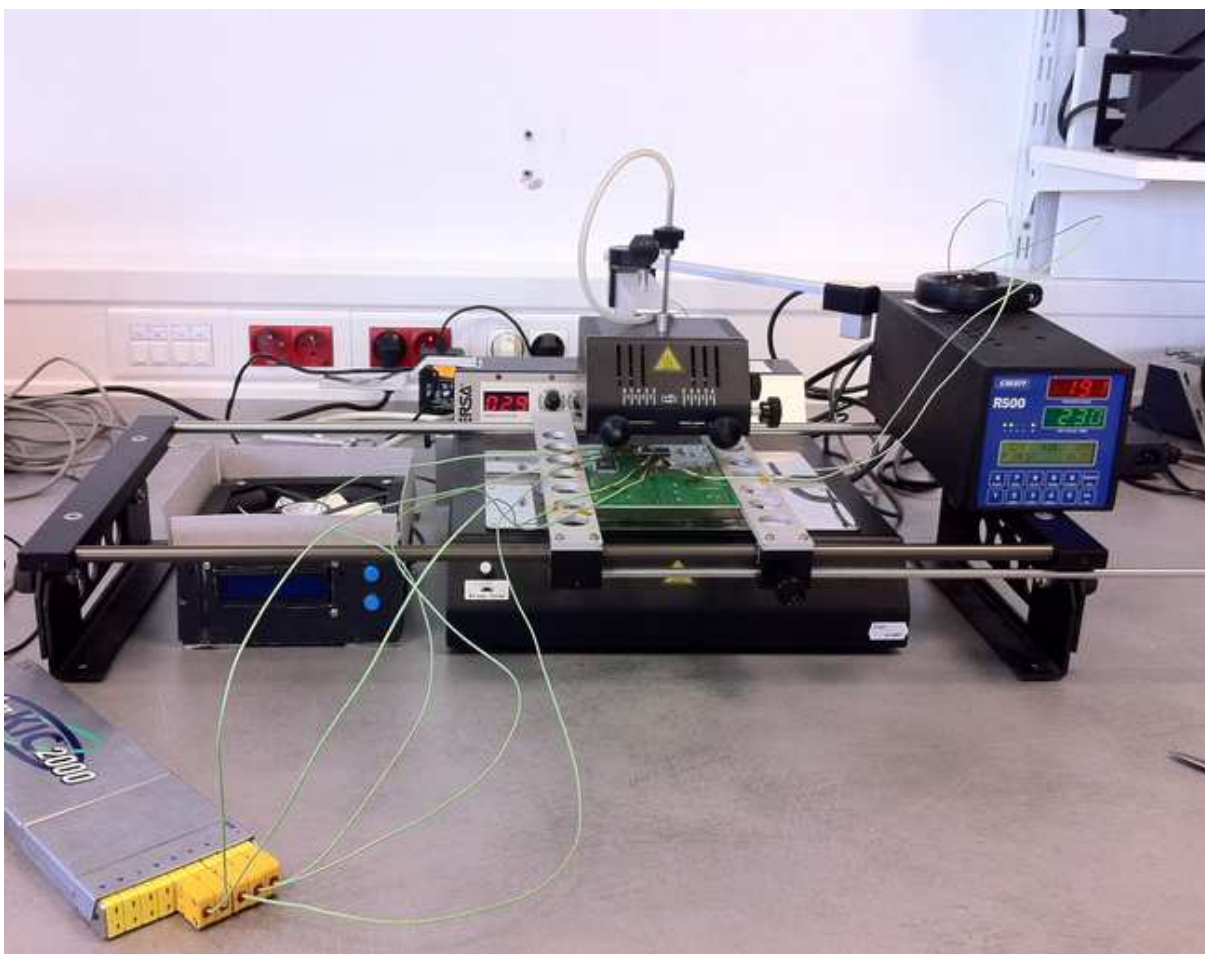
Váha: přibližně 7kg

Rozměry: DPS: 300 x 380 mm

Výška: min. 165 mm

max. 230 mm

max. zdvih: 65 mm



Obr. 15: Opravárenská stanice IR-400

4 REGULÁTOR R 500

R500 je čtyřpásmový programovatelný regulátor určený pro programové řízení elektrických odporových pecí a jiných soustav prostřednictvím elektromechanických stykačů, polovodičových relé (SSR – Solid State Relay), nebo proporcionálních výkonových členů. Umožňuje řízení regulovaných soustav jejichž regulovaná veličina je snímána termoelektrickými články, odporovými teploměry nebo čidly s proudovým výstupem. Regulátor může být dodán jako dvoupásmový až čtyřpásmový, každé pásmo může používat různý typ vstupního čidla a může být řízeno podle vlastních parametrů. Všechny měřicí vstupy regulátoru jsou galvanicky oddělené, funkce výstupních relé, analogových výstupů a logických vstupů je programově nastavitelná.

Regulátor je snadno ovladatelný pomocí 12 tlačítkové klávesnice, dvou čtyřmístných LED displejů a dvouřádkového 16 znakového podsvíceného LCD displeje. To umožňuje zobrazovat potřebné údaje o stavu regulátoru i regulované soustavy. Ovládání regulátoru, nastavování parametrů a funkce jeho diagnostiky jsou řešeny pomocí přehledných nabídek zobrazovaných na LCD displeji. Hodiny reálného času se zabudovanou baterií umožňují spuštění programů v požadovaném čase a spolu s nezávislou pamětí programů umožňují dokončení započatého programového cyklu i v případě krátkodobého výpadku elektrického proudu. Nezávislá paměť umožňuje dlouhodobé uchování důležitých údajů o průbězích jednotlivých regulačních cyklů a o činnosti regulátoru. V paměti regulátoru lze uložit až 100 regulačních cyklů (programů), ty lze různě upravovat a podle potřeby spouštět.

Regulátor poskytuje svým programovým vybavením řadu možností pro kvalitní regulaci jako je např. pět způsobů regulace s nastavitelnými koeficienty, ty mohou být společné pro všechna použitá pásma, nebo je lze nastavit pro jednotlivá pásma samostatně. [9]

4.1 Základní parametry regulátoru

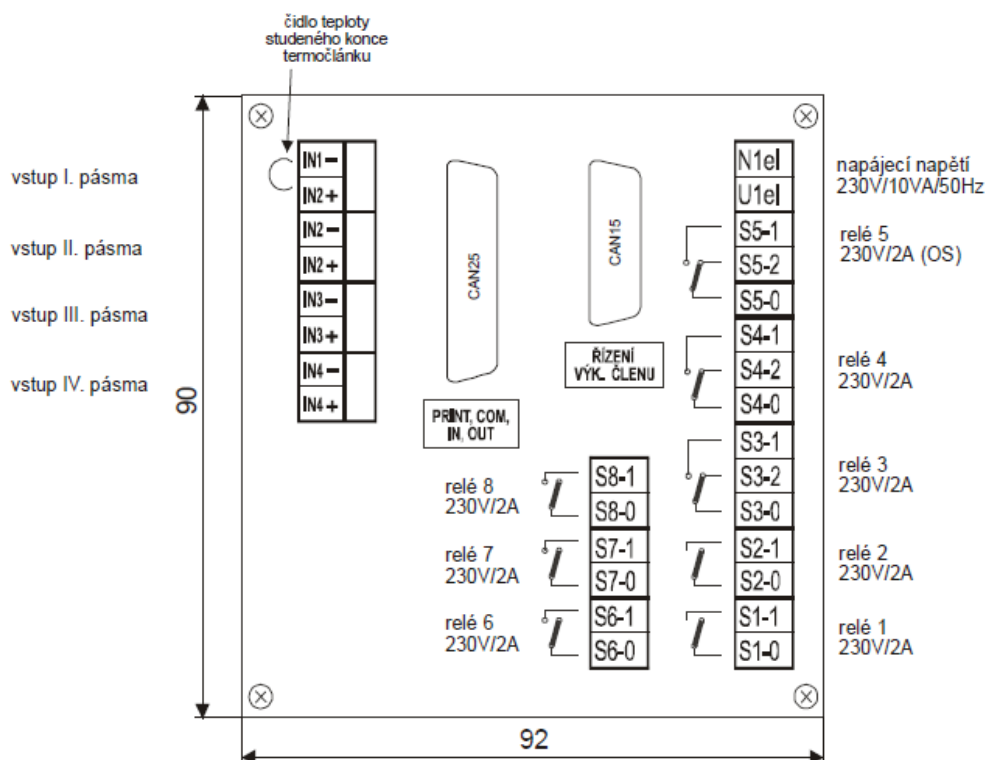
Vstupy:

- dva až čtyři galvanicky oddělené vstupy umožňující připojení termočládkových a odporových teploměrů nebo jiných čidel s proudovým výstupem 0 až 20mA (zahrnuje i rozsah 4 až 20mA). Typ vstupního čidla lze zvolit v servisním nastavení. Odporové vstupy se připojují dvou vodičově, kompenzace odporu vedení se provádí v programově. Požadavek na osazení proudových vstupů je třeba uvést v objednávce
- čtyři logické dvoustavové vstupy s úrovněmi 0 / 5V (sepnuto/rozepnuto)

- tři vstupy pro připojení měřicích transformátorků pro snímání proudu protékajícího silovými obvody regulovaného systému

Výstupy:

- až osm relé 230V/2A (pět se spínacím a tři s přepínacím kontaktem) pro ovládání stykačů, ovládání ochranného stykače, klapky, ventilátoru, spínání alarmu nebo pro ovládání jiných zařízení. Funkce, přiřazení k pásmům a stav relé při detekci chybového stavu je volitelná
- signály 12V/50mA pro řízení až osmi polovodičových relé. Na každém výstupu může být osazeno vnitřní relé 230V/2A nebo může řídit vnější polovodičové relé (SSR – Solid State Relay). Počet a druh výstupů (vnitřní relé nebo výstup pro řízení SSR) je třeba uvést v objednávce
- čtyři analogové výstupy 0 až 10V/1mA pro řízení lineárních výkonových členů
- Sériové rozhraní s 5-ti voltovou logikou pro připojení tiskárny nebo sériové rozhraní RS232 pro propojení regulátoru s počítačem nebo RS485 pro síťové propojení více regulátorů s počítačem [9].



Obr. 16: Zapojení svorek na zadní straně plně osazeného regulátoru [9]



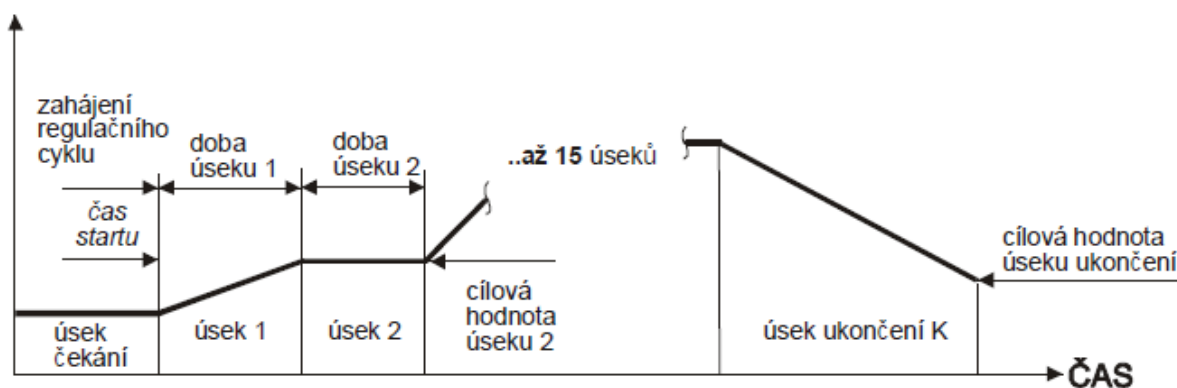
Obr. 17: Čelní panel regulátoru [9]

4.2 Činnost regulátoru v průběhu regulačního cyklu

Do paměti regulátoru lze zapsat až sto programů. Každý z nich může být tvořen jedním až patnácti regulačními úseky a vždy jedním úsekem ukončení programu. Průběh regulačního cyklu závisí na zvoleném typu programů (v servisním nastavení programů). Regulátor může pracovat pouze s jedním typem programů, při jeho změně v servisním nastavení programů je třeba smazat všechny programy, které neodpovídají nastavenému typu [9].

4.2.1 Program řízený pouze časem

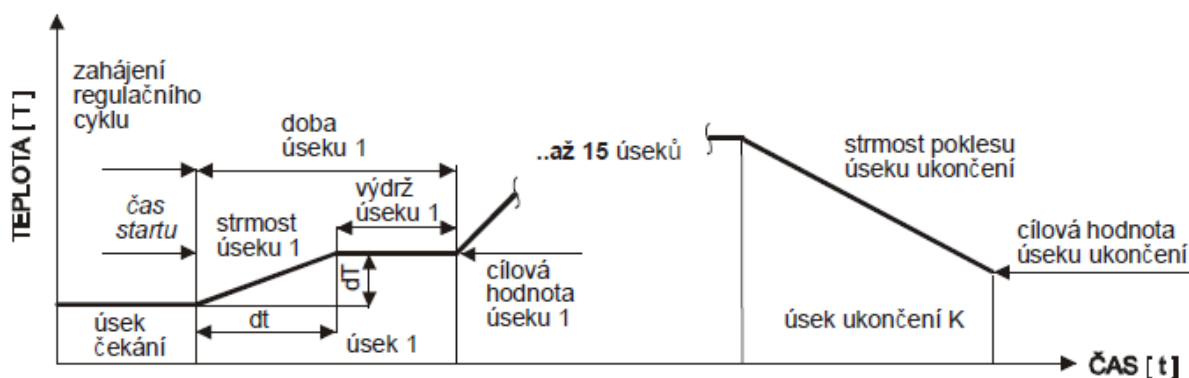
U tohoto typu programů jsou jednotlivé úseky určeny dobou trvání a hodnotou regulované veličiny na konci úseku. Základní schéma programu regulátoru je uvedeno na následujícím obrázku [9].



Obr. 18: Základní schéma programu řízeného pouze časem [9]

4.2.2 Program řízený strmostí a časem

U tohoto typu programů se každý úsek programu skládá ze dvou částí. V první části se zadává požadovaná strmost nárůstu regulované veličiny a požadovaná hodnota regulované veličiny, která má být s touto strmostí dosažena. Při základní časové jednotce regulátoru 1 minuta je strmost v jednotkách regulované veličiny za hodinu (např. °C/hod), při časové jednotce 1 sekunda je strmost v jednotkách regulované veličiny za minutu. Ve druhé části úseku se zadává doba výdrže na dosažené hodnotě. Nastavené parametry jsou u tohoto typu programu společné pro všechna pásma regulátoru. Základní schéma takového programu je uvedeno na následujícím obrázku [9].



Obr. 19: Základní schéma programu řízeného strmostí a časem [9]

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5.1 Realizace přídavného chlazení

Pro zlepšení kvality pájení na opravářenské stanici IR 400 bylo nutné navrhnout zařízení na ochlazení DPS a následně jej realizovat. Tento poznatek vychází z předchozí práce na této opravářenské stanici. Inspirací byla novější opravářenská stanice IR 550 od stejné firmy, která už chlazení obsahuje v podobě ventilátoru. Od chlazení se očekává optimalizace pájecího profilu v části chlazení a tím dosažení větší strmosti klesání teploty v poslední části procesu pájení.

Pro chlazení byl vybrán počítačový ventilátor od firmy Arctic s označením FAN F12 PWM, tento ventilátor je řízen PWM signálem (pulzní šířkovou modulací). Pro jeho řízení byl použit mikrokontroler PIC16F818, který přímo řídí ventilátor PWM signálem. Pomocí tohoto signálu regulujeme otáčky ventilátoru na požadované hodnoty.

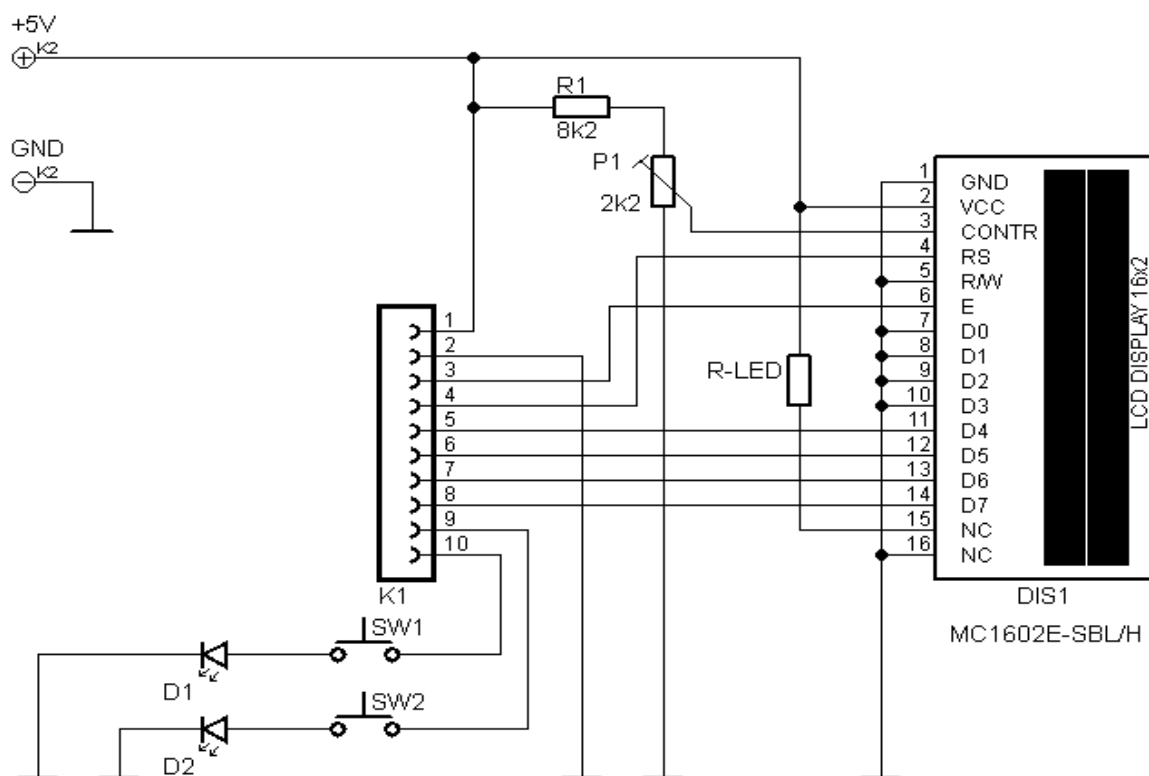
5.1.1 Návrh a konstrukce chlazení

Hlavním prvkem zařízení je mikrokontroler, který je ve schématu označen jako IC1 na obr. 20. Navržené zapojení vychází z dokumentace výrobce. Tento obvod je naprogramován tak, aby umožňoval libovolné nastavení otáček a v další řadě zobrazení aktuálního stavu na displeji.

Program je rozdělen do tří částí, v první části je naprogramována regulace ventilátoru přes modul PWM, který je přímo implementován v mikrokontroleru. Druhá část programu obstarává komunikace mezi mikrokontrolerem a displejem. Z důvodu ušetření vývodu mikrokontroleru probíhá tato komunikace 4 bitově. Propojení těchto dvou částí je realizováno přes konektor K1 na obr. 20 a obr. 21, podrobné propojení se nachází v tabulce 2. Poslední část programu snímá signál otáček přímo z konektoru ventilátoru. Počítáním tohoto signálu v podobě pulsů a jeho následným převodem otáček za minutu se zobrazuje na jednom řádku displeje, druhý řádek zobrazuje nastavenou úroveň regulace.

Při nízkých otáčkách ventilátoru byl při měření osciloskopem v signálu zjištěn šum, docházelo tak k nepřesnému snímání pulsů, proto byl do obvodu přidán RC členek, aby nežádané složky signálu vyfiltroval. Tento členek najdeme na obr. 20 na 6 vývodu mikrokontroleru kde je připojen kondenzátor C8, rezistor byl dodatečně přidán programově.

Ve schématu zapojení nesmíme opomenout další důležité části návrhu jako konektor K2, který umožňuje obvod naprogramovat přímo na DPS. Konektor K3 slouží k napájení



Obr. 21: Zapojení displeje

Tabulka 2: Propojení konektoru K1

vývod	název	popis
1	Vdd	napájení +5V
2	Vss	GND (zem)
3	E	Enable 1, hrana z 1 -> do 0
4	RS	Register Select 0=instrukce, 1=data
5	D4	Data 4
6	D5	Data 5
7	D6	Data 6
8	D7	Data 7
9	SW1	tlačítko nastavení 1
10	SW2	tlačítko nastavení 2

V tabulce 3 je podrobné zapojení vývodů, název signálu a jejich popis. Toto zapojení je standardní u většiny displejů 2x16 znaků. V tomto případě se jedná o znakový LCD displej MC1602E-SBL/H.

Popis displeje:

Velikost modulu: 84x44x12,5 (délka x šířka x výška v mm)

Velikost viditelné oblasti: 64,5 x 16,4mm

Velikost bodů: 3,51 x 5,75mm

Rozteč bodu: 0,56 x 0,61mm

LCD řadič/ovladač: S6A0069, 5x8 s kurzorovými tečkami, 16znaků/2řádky

Druh polarizátoru: negativní transmisivní

Typ podsvícení: LED poosvětlení na straně

Barva podsvícení: modrá

LCD panel: Typ modrá na bílé, kontrast 2 až 4

Směr pohledu: spodní (od číslice 6 na ciferníku hodin)

Pracovní teplota: -20 / + 70 st.C.

Znaková sada: základní (anglická abeceda) [10]

Tabulka 3: Zapojení vývodů displeje [10]

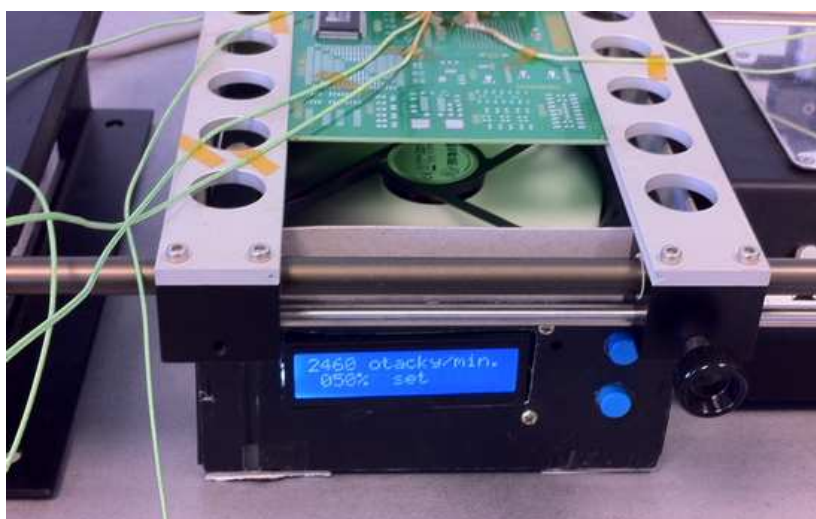
vývod	název	popis
1	Vss	GND (zem)
2	Vdd	napájení +5V
3	V0	kontrast 0V - 5V
4	RS	Register Select, 0=instrukce, 1=data
5	R/W	Read / Write, 0=zápis, 1=čtení
6	E	Enable 1, hrana z 1 -> do 0
7	D0	Data 0
8	D1	Data 1
9	D2	Data 2
10	D3	Data 3
11	D4	Data 4
12	D5	Data 5
13	D6	Data 6
14	D7	Data 7
15	A	podsvícení - anoda LED
16	K	podsvícení - katoda LED

Tabulka 4: Nastavení otáček

procenta	ot./min
6	660
10	1020
20	1560
30	1920
40	2220
50	2400
60	2580
70	2640
80	2760
90	2820
100	2880

Desky plošných spojů byly navrženy jednostranně podle schémat zapojení obr. 20 a obr. 21 v návrhovém systému Eagle. Pro výrobu desek bylo potřeba vytisknout na pauzovací papír vodivý motiv, ten se pak přiložil na DPS s fotocitlivou vrstvou. Po takovéto přípravě se takto připravené desky vložili do osvětlovacího zařízení po definované době. Následující krok je vyvolání vodivého motivu ve vývojce. Po vyvolání motivu následuje leptání definovanou dobu v chloridu železitém, dalším krokem je vyvrtání otvorů pro vývodové součástky a její samotné osazení. Obě DPS jsou vloženy v příloze společně s programem.

Oživené DPS byly zakomponovány do kovové krabice, která je zhotovena z PC zdroje tak, aby bylo zajištěno dobré nasávání vzduchu ventilátorem a tím docíleno co nejefektivnějšího chlazení.



Obr. 22: Zkonstruované chlazení ventilátorem

5.2 Optimalizace pájecích profilů v oblasti chlazení

Optimalizace v oblasti chlazení byla provedena pro dva typy pájecích past S6M-XM35 a SAC3-XF3 od firmy COBAR. Pasty jsou určeny pro šablonový tisk a sítotisk. Obě pasty jsou bezoplachové a jejich vlastnosti jsou shrnuty v tabulce 5 [17], [18]. Cílem optimalizace profilu bylo získání pájecího profilu udaného výrobcem. Navržené chlazení má zrychlit chlazení DPS a tím docílit pevnějšího a kvalitnějšího spoje.

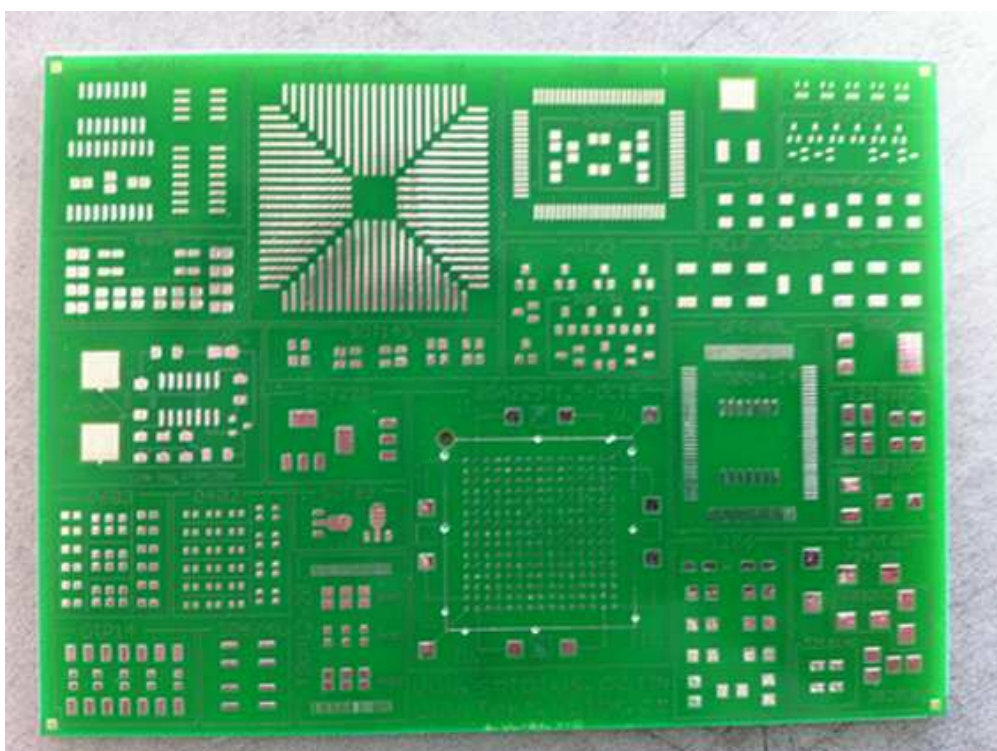
Tabulka 5: Parametrů pájecích past [17],[18]

Pájecí pasta	S6M-XM35	SAC3-XF3
Max. teplota [°C]	217-225	235-250
Teplota přehřevu [°C]	155-165/165-175	155-175/175-195
Čas přehřevu [s]	45-60	45-100
Strmost náběhu teploty [°C/s]	1-1,2	1-1,3
Teplota tavení [°C]	183	217
Čas na teplotou tavení [s]	35-50	30-50

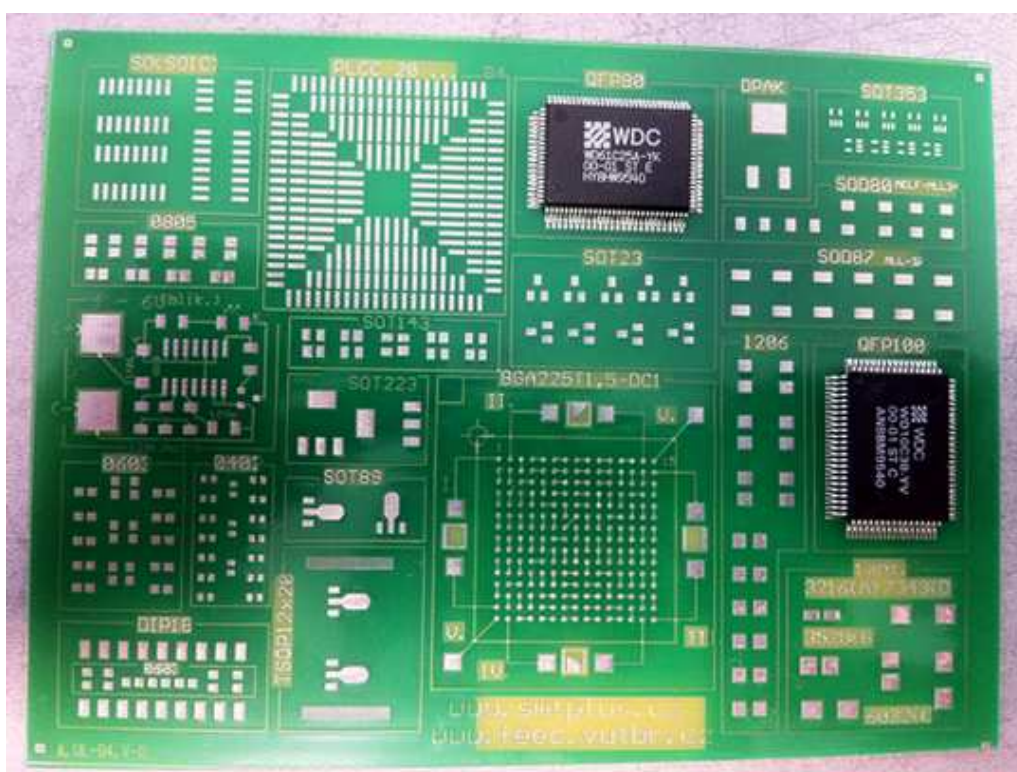
Olovnatá pájka má lepší vlastnosti co se týče jakosti pájeného spoje. U bezolovnatých pájek se vlastnostmi nejvíce olovnaté pájce blíží SAC3-XF3. Problém jsou velmi rozdílné teploty tavení, jak je patrné z tabulky 5. Rozdíl mezi olovnatou a bezolovnatou pájkou je teplota tavení, která je u bezolovnaté pájky o 34 °C vyšší. Při teplotě od 250 °C – 260 °C dochází k tavení pouzder součástek, proto je velice důležité hlídat teplotu tavení.

5.2.1 Testovací desky plošných spojů

Před samotným měřením teplotního profilu byly vytvořeny dvě testové desky plošného spoje, které umožnily několikrát po sobě změřit proces pájení a chlazení. Byly použity DPS typu FR4 s vodivým motivem pro několik typů součástek. Zapojení vidíme na obr. 22. Na jednu desku byly nalepeny dvě pouzdra typu QFP epoxidovým lepidlem s označením EPO-TEK H61. Stejně byla vytvořena i druhá testová deska na, kterou bylo nalepeno jedno pouzdro typu PLCC. EPO-TEK H61 je jednosložkové a elektricky izolující epoxidové lepidlo pro polovodiče, mikroelektronické a optoelektronické aplikace. Po nalepení QFP a PLCC pouzder je třeba lepidlo vytvrdit v peci. Katalogový list udává dobu vytvrzení 150 °C po dobu 30 min. nebo při 120 °C po dobu 60 min. Pro měření nakonec byla využita jen první testová DPS s pouzdry QFP, která je na obr. 23. Testovací deska dvě sloužila jako náhradní, kdyby došlo k velkému tepelnému poškození první testovací desky. Náhradní testovací DPS najdeme v příloze.



Obr. 23: Vodivý motiv testovací DPS (materiál FR4)



Obr. 24: Částečně osazená testovací DPS pro optimalizaci pájecího profilu

5.2.2 Měření teplotního profilu

Měření bylo zaznamenáváno do počítače přes profiloměr Slim Kit 2000, kde jsme mohli sledovat průběh teploty všech termočlánků. Tento profiloměr umožňuje připojení až devíti termočlánků. Pro měření bylo využíváno jen pět termočlánků.

Kvalitním rozmístěním a uchycením termočlánků dosáhneme lepšího změření pájecího profilu. Termočlánky jsou umístěny na kritická místa, kde se projevuje tepelné namáhání a tepelná kapacita při pájení. Pro dobrou tepelnou vodivost mezi termočlánky a měřeným povrchem testového substrátu byla použita kaptonová páska. Vzhledem k častému odlepování pásky bylo potřeba před každým měřením znovu pásku přitlačit k substrátu, aby byla zajištěna dobrá tepelná vodivost. Rozmístění termočlánků vidíme na obr. 24.

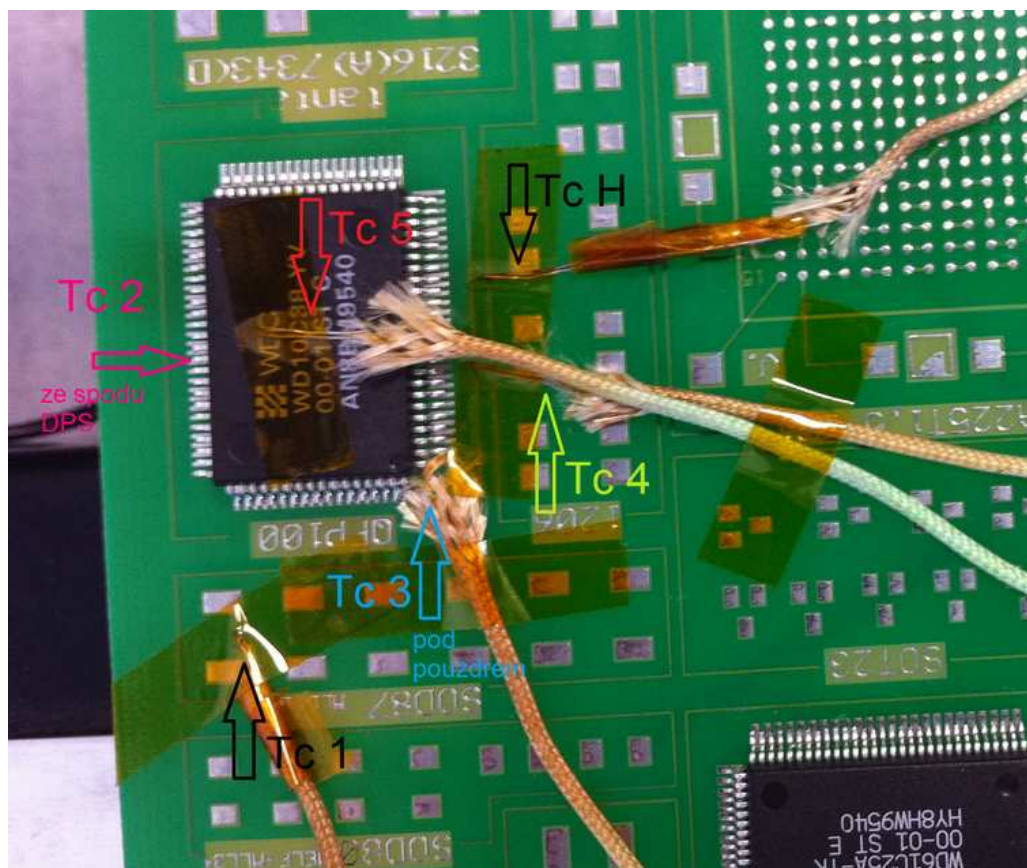
Význam a umístění termočlánků:

- Slim Kit 2000
 - Tc1: tento termočlánek spouští měření při 33°C
 - Tc2: měřící a umístěn ze spodu desky
 - Tc3: měřící a umístěn pod pouzdro QFP
 - Tc4: měřící a umístěn vedle pouzdra QFP
 - Tc5: měřící a umístěn na pouzdro QFP
- Regulátor R500
 - TcH: termočlánek hlídá teplotu horního zářiče, je umístěn na vrchní straně substrátu
 - TcD: termočlánek hlídá teplotu spodního zářiče, je umístěn na spodní straně substrátu

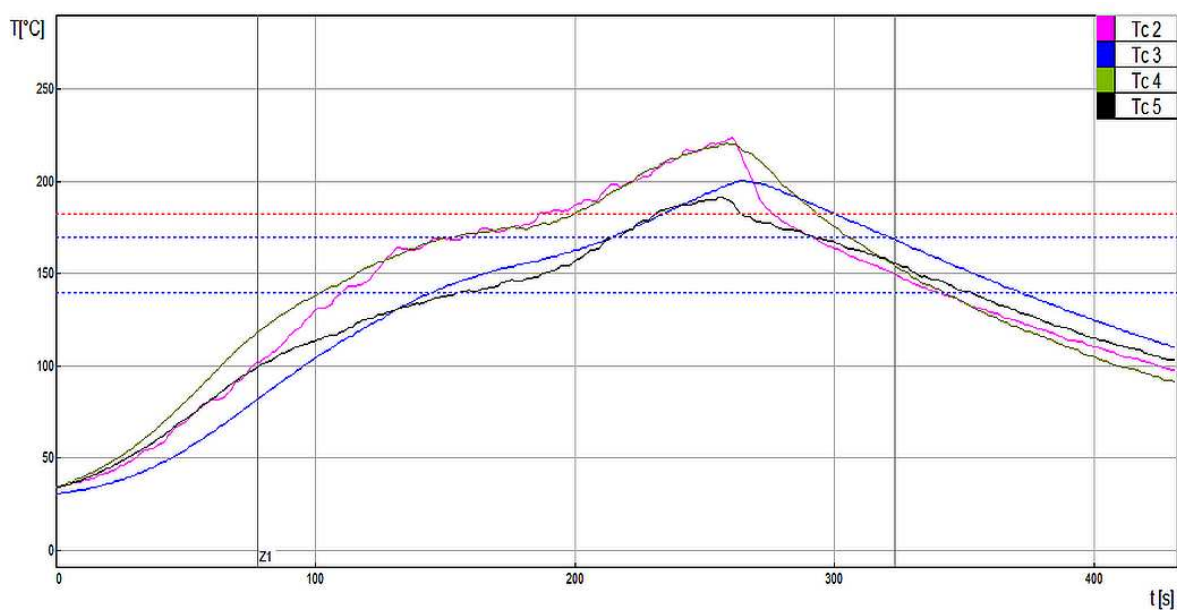
Poslední částí přípravy před samotným měřením je nastavení opravárenské stanice IR 400 a navolení programu u regulátoru R500. U opravárenské stanice nastavujeme výšku stolku a výšku hlavy horního ohřevu. Na regulátoru zvolíme číslo již hotového programu. Hodnoty nastavení opravárenské stanice vidíme v tabulce 6. Měření proběhlo pro dvě již zmiňované pájecí pasty S6M-XM35 a SAC3-XF3. Každá pájecí pasta byla měřena bez chlazení, s chlazením na 50 % a s chlazením na 100 %. Výsledky jsou zaneseny v grafech průběhu pájecího profilu.

Tabulka 6: Parametry programů regulátoru a výšky DPS pro optimalizované pájecí profily na korundové keramice [16]

Pájecí pasta ↓	Výška ↓	Číslo úseku →	1	2	3	4
S6M-XM35	Stolek – 15	Čas [m:s]	3:10	0:45	0:10	-
	Hlava – 30	TěD [°C]	170	175	230	-
		TěH [°C]	170	175	230	-
SAC3-XF3	Stolek – 25	Čas [m:s]	3:10	0:50	0:10	0:10
	Hlava – 40	TěD [°C]	175	200	255	256
		TěH [°C]	185	190	255	256
SN100C-XF3	Stolek – 25	Čas [m:s]	3:10	0:45	0:10	0:10
	Hlava – 40	TěD [°C]	175	200	255	256
		TěH [°C]	185	190	255	256
Bi58-XM5S	Stolek – 15	Čas [m:s]	1:00	1:10	0:10	-
	Hlava – 30	TěD [°C]	90	100	190	-
		TěH [°C]	90	100	195	-

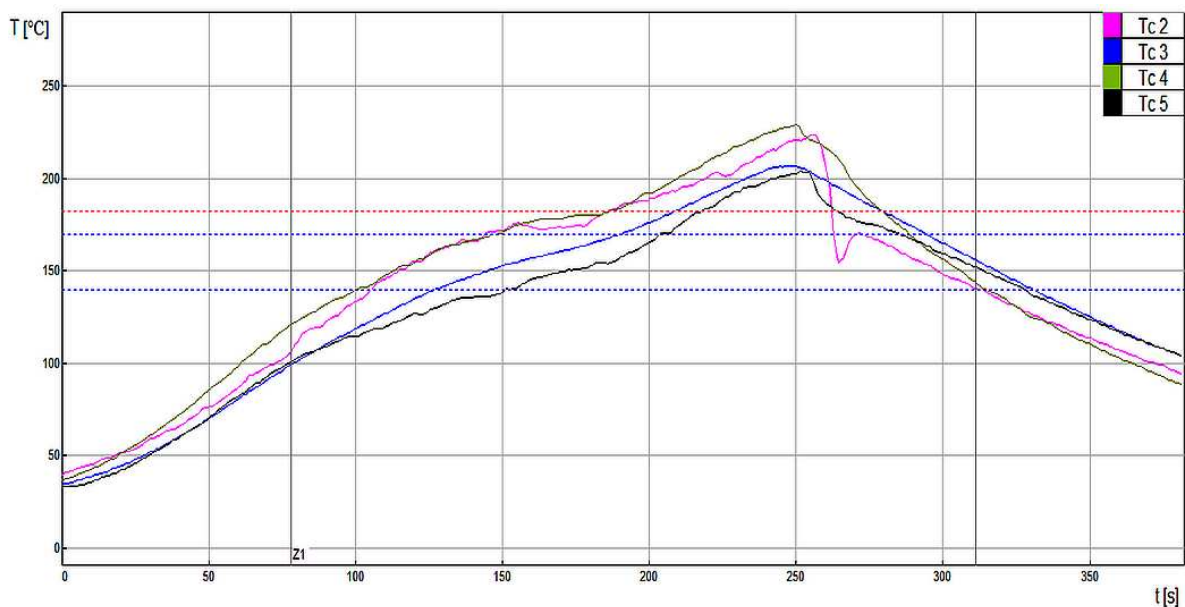


Obr. 25: Umístění termočlánků na testovací DPS



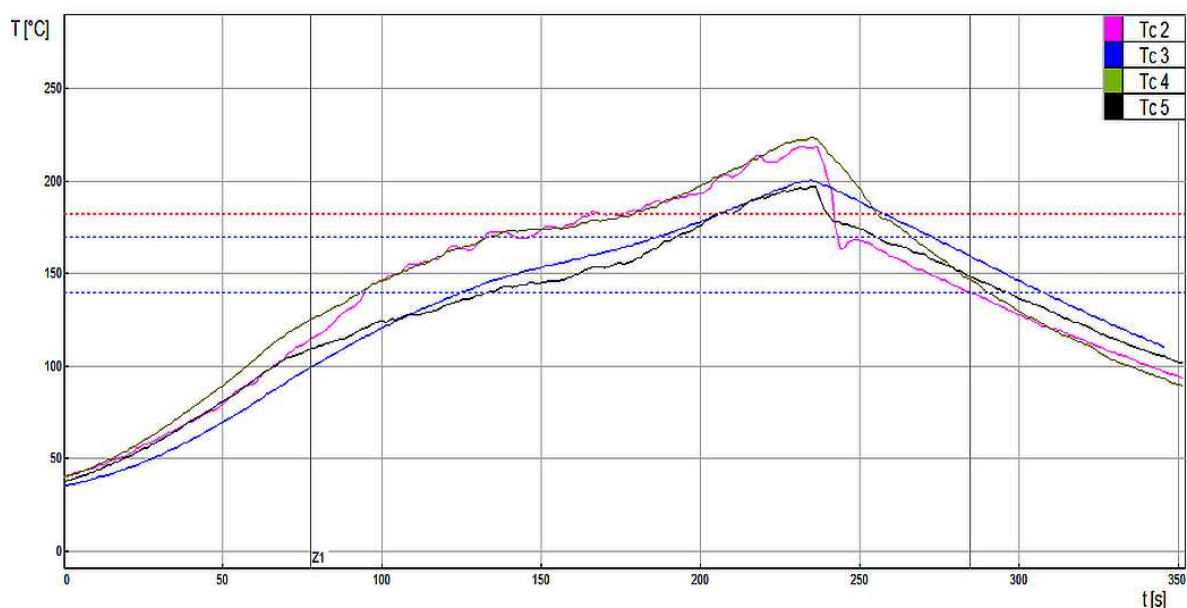
Obr. 26: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu S6M-XM35 bez chlazení

Na obr. 26 je zobrazen teplotní profil pro pájecí pastu S6M-XM35, který nebyl ochlazován navrženým zařízením. Strmost klesání teploty byla určena na 0,6°C/s. Profil Tc2 je mírně roztřepaný, což je způsobeno špatným uchycením termočlánku pod kaptonovou páskou.



Obr. 27: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu S6M-XM35 s chlazením 50 %

Profil na obr. 27 je se stejným typem pájecí pasty jako u předchozího případu s rozdílem, že v tomto případě bylo použito chlazení s nastavením 50 % s aktuálními otáčkami ventilátoru 2400 ot./min. Pro strmost klesání teploty v poslední části profilu byla určena hodnota 1,2 °C/s. U Tc2 můžeme sledovat že je opět profil trochu roztřepaný a v části chlazení je vidět strmý propad. Ten je způsobem přesunem testové DPS nad chlazení, vzniká tak špatná přilnavost termočlánku s testovou deskou. Proto je nutné velmi plynule přesouvat DPS nad chlazení, ale i tak je citlivost termočlánků dost velká, a tak často dochází k deformaci profilu.

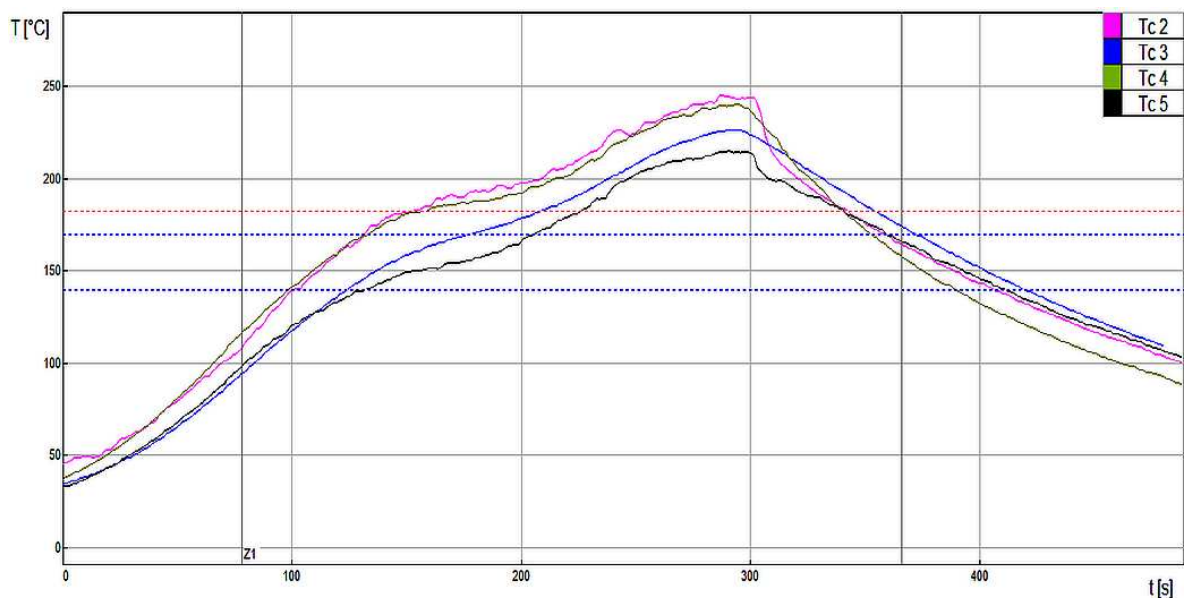


Obr. 28: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu S6M-XM35 s chlazením 100 %

U posledního měřeného profilu pro pájecí pastu S6M-XM35 bylo použito chlazení na 100%. Z obr. 27 a obr. 28 můžeme porovnat jak strmost klesání teploty, tak i dobu chlazení, která byla skoro o 50 sekund menší než u maximálního výkonu chlazení. Strmost klesání teploty byla stanovena na 1,8 °C/s.

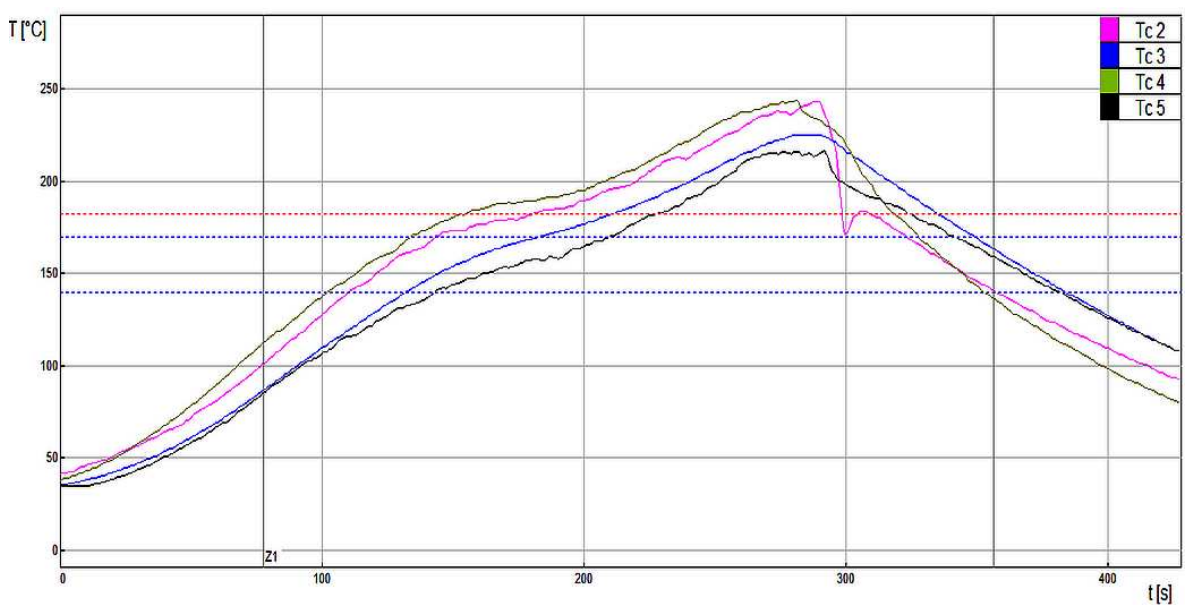
Tak jako v předchozím případě optimalizace pájecího profilu můžeme sledovat propad teploty u Tc2. Tento termočlánek je umístěn na spodní straně testové DPS, i tím se dá vysvětlit jeho větší citlivost na teplotu. Průběh u termočlánku Tc3 není roztřepaný, což je způsobeno jeho umístěním pod pouzdem QFP, kde tento termočlánek nepodléhá okolní teplotě. Teplota u profilů na obr. 26 až obr. 28 se pohybuje lehce nad 200 °C. V oblasti chlazení je na těchto třech obrázcích vidět, že chladnutí trvá mnohem déle než u ostatních termočlánků, to je způsobeno akumulací tepla pod pouzdem integrovaného obvodu.

Termočlánek Tc5 umístěný na pouzdru QFP dokazuje funkčnost Dark ir zářičů, kterými je opravárenská stanice vybavena.



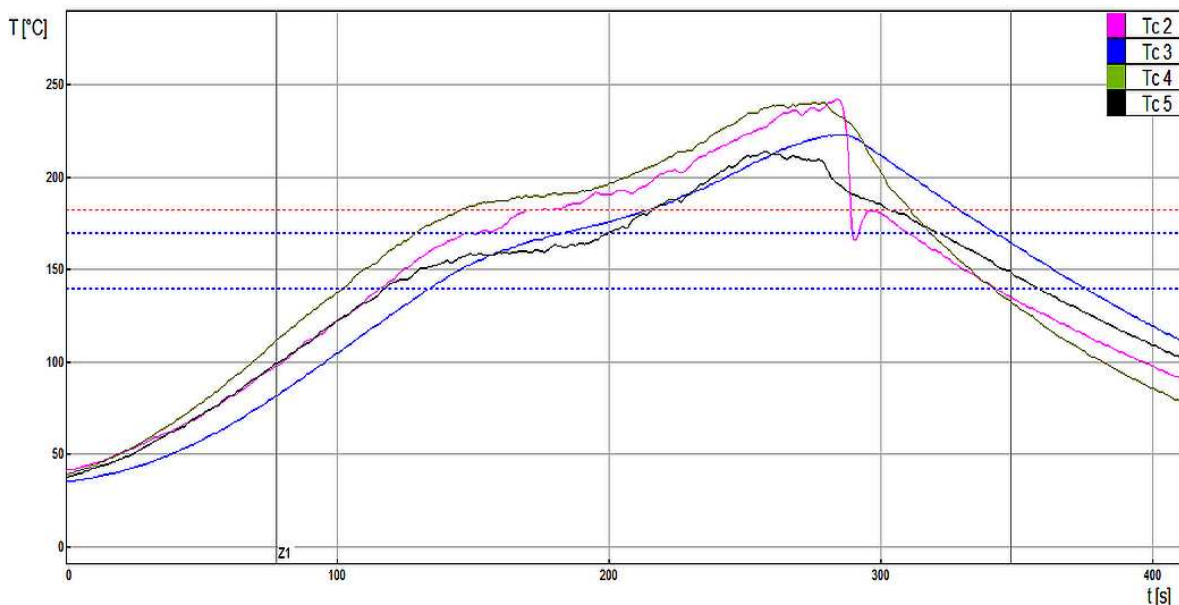
Obr. 29: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu SAC3-XF3 bez chlazení

Pro pájecí pastu SAC3-XF3 byl změřen teplotní profil zobrazený na obr. 29, kde můžeme sledovat vyšší teplotu blížící se k 250 °C. Strmost bez chlazení byla okolo 0,6 °C/s.



Obr. 30: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu SAC3-XF3 s chlazením 50%

Při polovičním výkonu chlazení jsme dosáhli strmosti $1,3\text{ }^{\circ}\text{C/s}$, ani toto chlazení není úplně ideální pro vytvoření dobrého spoje. Na obr. 30 znovu vidíme propad teploty termočlánku Tc2, který je způsoben přesunem DPS nad zařízení pro chlazení.



Obr. 31: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu SAC3-XF3 s chlazením 100 %

Na obr. 31 vidíme optimalizaci pro pájecí pastu SAC3-XF3, úroveň chlazení byla nastavena na 100 %, přičemž aktuální otáčky ventilátoru byly 2880 ot./min. Dosažená strmost teploty pro toto měření byla určena na $1,8\text{ }^{\circ}\text{C/s}$.

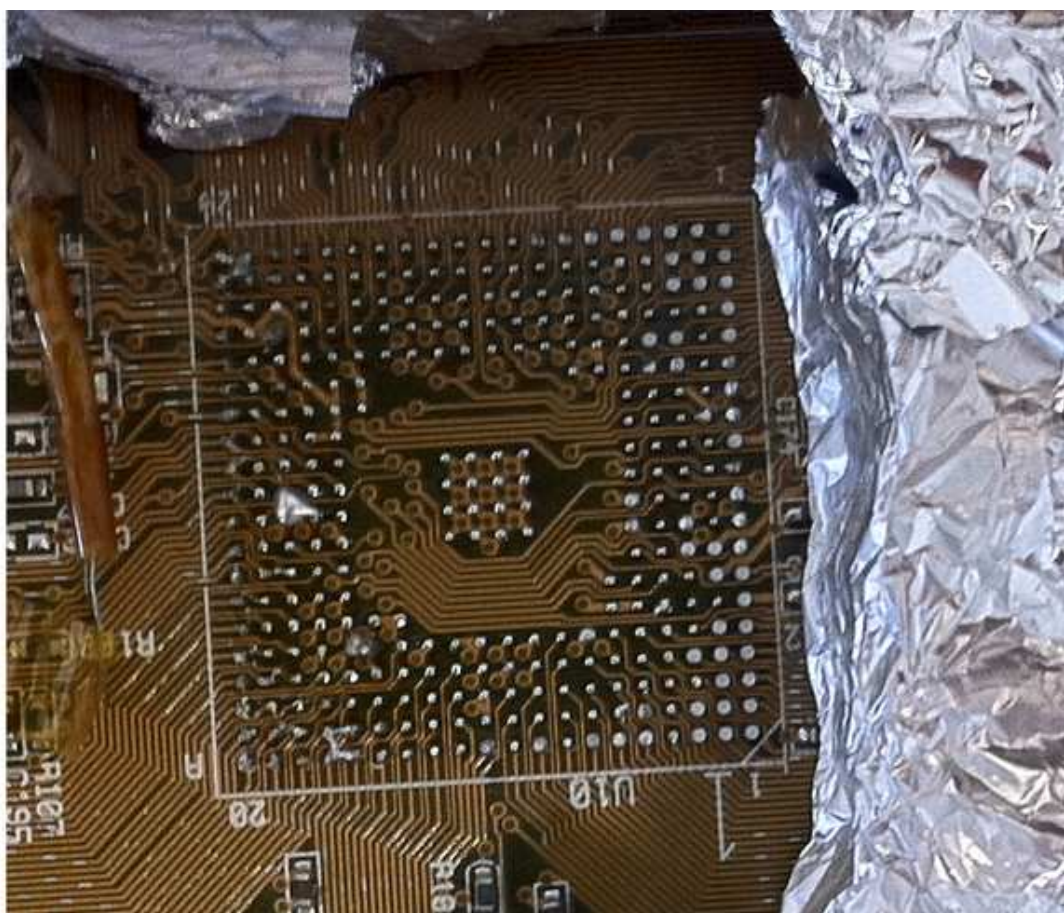
Jak můžeme sledovat z naměřených grafů obr. 29 až obr. 31, nejvyšší teplotu změřili Tc2 umístěný ze spodu a Tc4 umístěný z vrchní části testové DPS. Teplota se pohybuje od $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ téměř až $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, čímž nehrozí poškození DPS a ani součástkám při procesu přetavení.

Optimalizováním těchto dvou pájecích past v oblasti chlazení jsme docílili stejné strmosti chlazení, která byla stanovena na $1,8\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ při plném výkonu chlazení. Tato strmost by měla být dostačující pro vytvoření kvalitního spoje.

5.3 Experimentální zapájení BGA pouzdra

První experimentální zapájení BGA pouzdra bylo provedeno na použité základní desce počítače. Na opravárenské stanici IR 400 byla provedena demontáž čipu, správné umístění

základní desky na stolek opravárenské stanice a umístění termočlánků regulátoru R500 horního a dolního záříče je velice důležité pro správné odpájení. Okolí pouzdra bylo přikryto alobalem, aby nedocházelo ke zbytečnému ohřívání okolních komponentů. Pro samotnou demontáž BGA pouzdra byl vybrán již optimalizovaný teplotní profil pro pájecí pastu SAC3-XF3. Při teplotě tavení bylo pouzdro demontováno vakuovou pipetou umístěnou v horním záříči. Na obr. 32 můžeme vidět základní desku po demontáži pouzdra BGA, kde jsou ještě zbytky pájky.

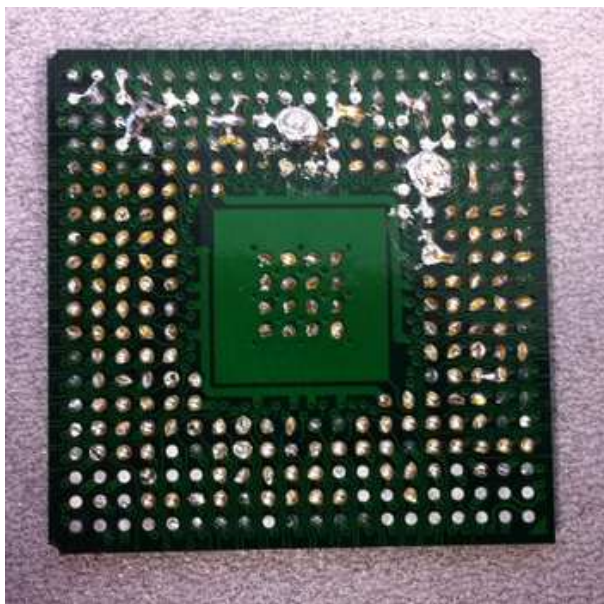


Obr. 32: Základní deska počítače po demontáži pouzdra BGA

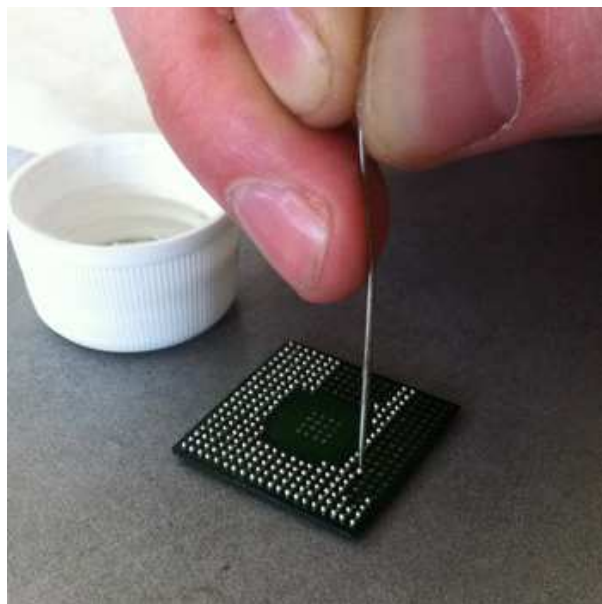
Po demontáži následuje čištění dané části, aby bylo možno znovu pouzdro zapájet. K odstranění zbytků pájky použijeme buď odsávací zařízení, nebo pájecí nástroj, jako je měděný knot. Po očištění od všech zbytků pájky a nečistot je nanесeno tavidlo na místo pouzdra BGA.

Na obr. 33 máme pouzdro BGA po demontáži, kde je vidět přebyтеčná pájka, odstranění proběhne stejně jako v předchozím případě základní desky počítače. Správně očištěné pouzdro je třeba znovu rebolovat. Vzhledem k tomu, že na tento typ pouzdra

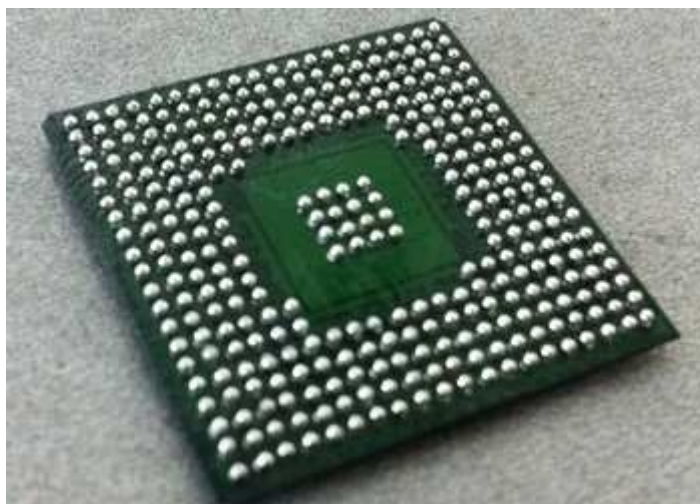
nebyla k dispozici šablona na osazení kuliček pájky, byl reboiling proveden ručně. Na pouzdro nanese tavidlo a poté do tavidla osazujeme kuličky pájky typu SAC305. Osazování kuliček vidíme na obr. 34 a výsledek dokončení osazení na obr. 35.



Obr. 33: Pouzdro BGA po demontáži



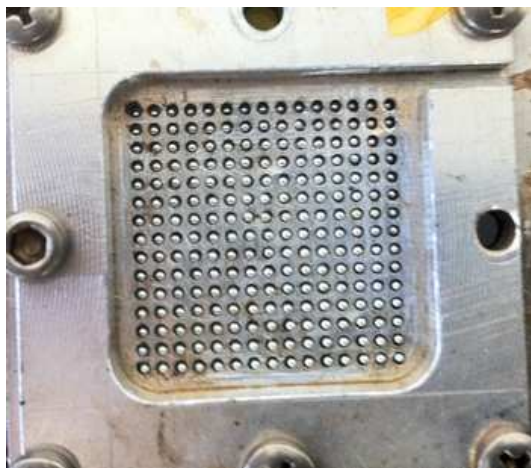
Obr. 34: Ruční osazení kuliček pájky SAC305



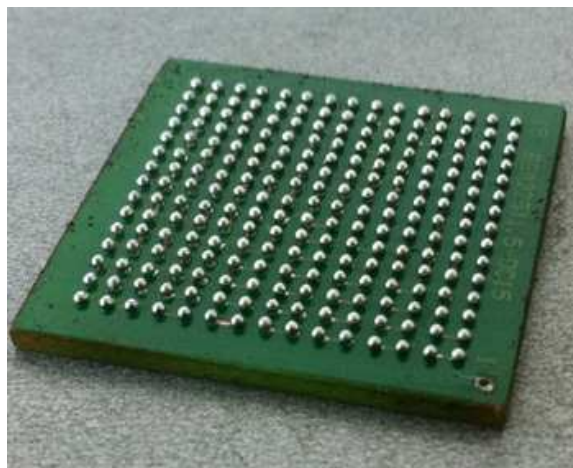
Obr. 35: Dokončení osazení kuliček pájky SAC305

Po takto provedených přípravách je možné pouzdro osadit na základní desku počítače, pro zapájení byl použit stejný teplotní profil jako při demontáži. Při přetavení pouzdra se na většině místech vývody spojily. Příčinou bylo tavidlo, do kterého se provádělo osazení kuliček pájky. Při přetavení došlo k pohybu kuliček po tavidle a tím vznikly pod celým pouzdem BGA zkratky. První pokus zapájení BGA nepřinesl očekávané výsledky.

Pro druhém zapájení BGA pouzdra byla využita testová deska na obr. 22. Jako pouzdro byla použita náhrada v podobě pouzdra BGA z desky FR4. Na tuto desku byly nanесeny kuličky pájky SAC305 přes šablonu, to vidíme na obr. 36. Po rebolingu došlo k přetavení kuliček na opravárenské stanici IR 400. Pro přetavení byl použit optimalizovaný teplotní profil pro pájecí pastu SAC3-XF3 s chlazením 100 %. Na obr. 37 vidíme pouzdro po přetavení opravárenskou stanicí.

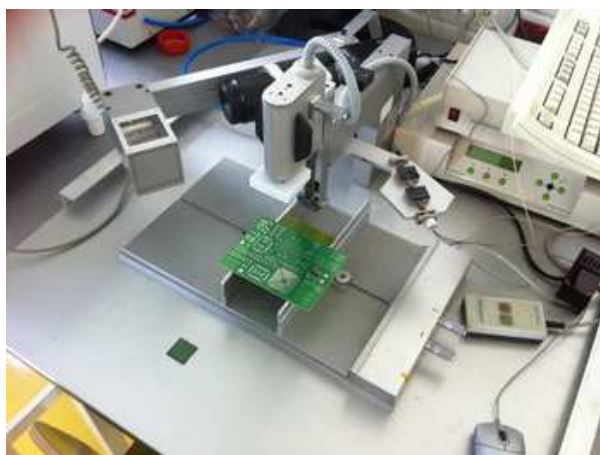


Obr. 36: Reboling přes šablonu



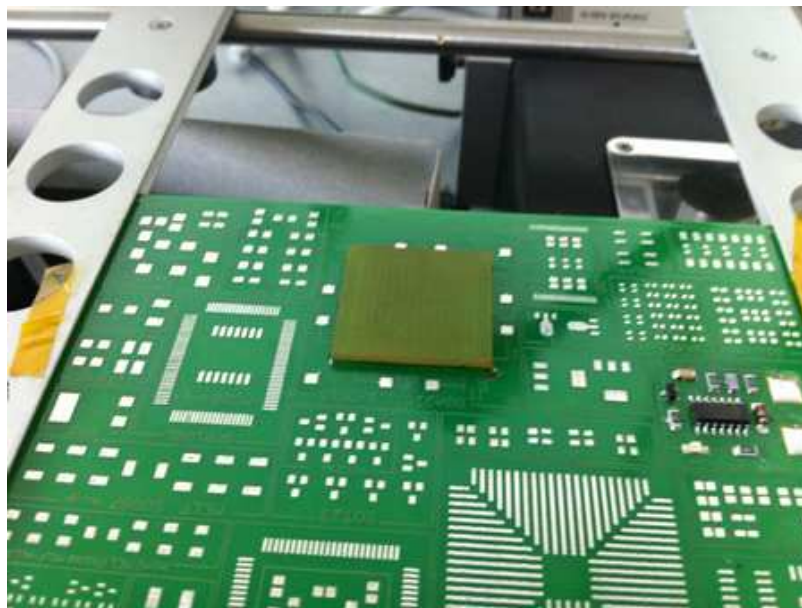
Obr. 37: BGA pouzdro po přetavení

Další krok byl sesazení testové DPS s pouzdem BGA, k tomu slouží zařízení FRITSCH na obr. 38. Dojde tak k přesnému osazení kulových vývodů na plošky testové desky.



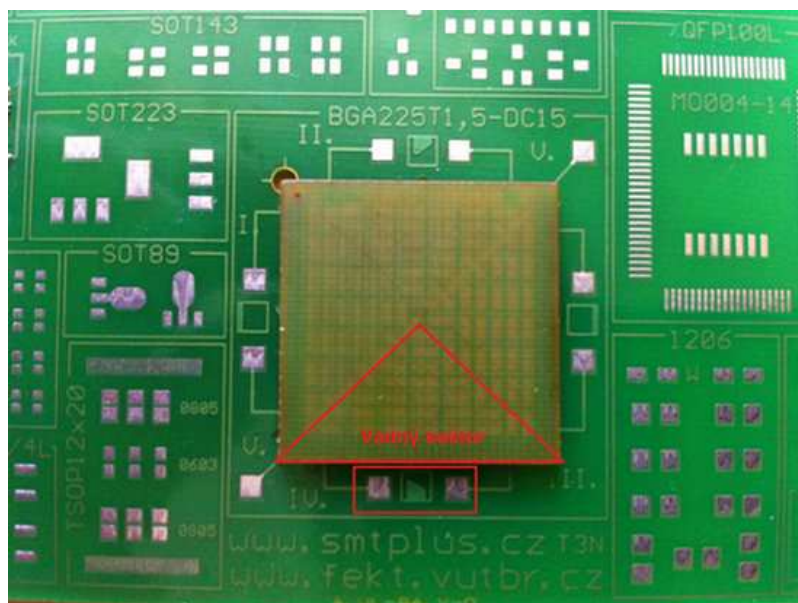
Obr. 38: Sesazení na stanici FRITSCH

Takhle přesně sesazené obě části umístíme na stolek opravárenské stanice IR400. Pro zapájení byl použit optimalizovaný profil pro pájecí pastu SAC3-XF3 s nastaveným chlazením 100 %. Testovou desku po přetavení máme na obr. 39.



Obr. 39: Testová deska s BGA pouzdrém po přetavení

Po přetavení byla deska testována metodou spojování sériových vývodů, všechny segmenty kromě jednoho byly v pořádku. Na obr. 40 můžeme vidět označenou vadnou část pouzdra BGA.

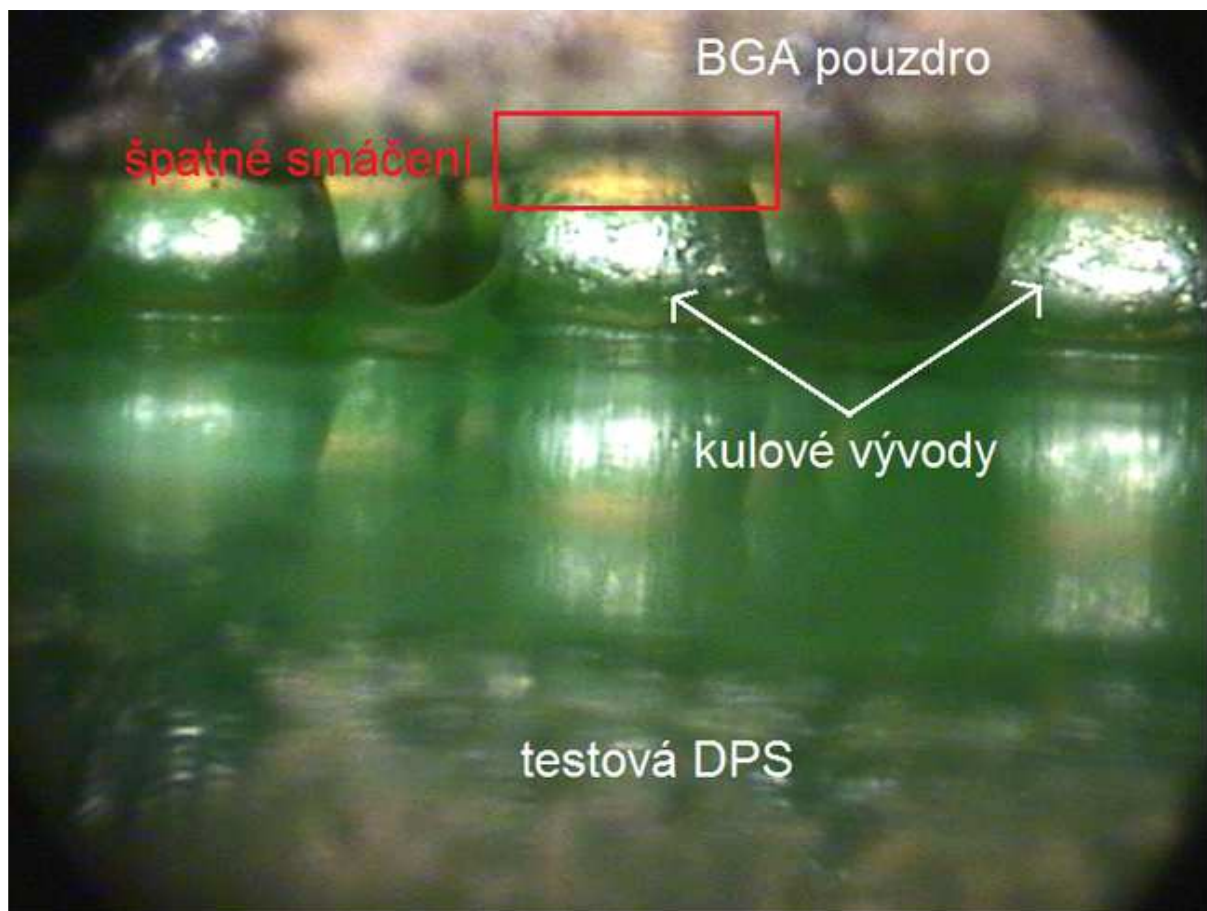


Obr. 40: Vadný sektor zjištěný metodou spojování sériových vývodů

Chyba této části vznikla špatným spojením BGA pouzdra s testovací deskou. Pro odhalení chyby jsme použili Ersa Scope, který umožňuje podívat se na vývody BGA pouzdra. Jak můžeme vidět z pořízených snímků, na obr. 41 je vidět špatné smáčení vývodů na

pouzdrě. To zapříčinilo špatné přetavení po rebolingu pouzdra, tento nedostatek vznikl velkým odváděním tepla do kovové šablony na obr. 36. Z toho vyplývá, že pro reboling měla být použita jiná metoda než opravárenská stanice IR 400.

Jak můžeme dále sledovat z obr. 41, smáčení na testové desce je v pořádku, proto můžeme říct, že teplotní profil byl správně optimalizován včetně chlazení. Na takto upravené opravárenské stanici lze opravovat BGA pouzdra.



Obr. 41: Vývod BGA pouzdra po přetavení

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo optimalizovat opravárenskou stanici IR 400 tak, aby na ní bylo možné s co nejvyšší spolehlivostí a reprodukovatelností pájet a opravovat desky plošných spojů, se zaměřením na pouzdra BGA. Pro tento požadavek bylo nutné zajistit lepší regulaci IR zářičů, což bylo vyřešeno přidáním regulátoru R 500. Po jeho úspěšné instalaci byly naprogramovány profily pro různé typy pájecích past.

Dalším cílem této práce je optimalizování již nastavených pájecích profilů v oblasti chlazení. Pro tento požadavek bylo navrženo zařízení pro chlazení DPS s pomocí přídavného ventilátoru. V průběhu optimalizování profilů bylo dosaženo chlazení s největší strmostí 1,8 °C/s, což je v souladu s literárními údaji, kde je doporučována strmost chlazení od 1,5 °C/s do 4 °C/s, čemuž navržené řešení vyhovuje. Tato část optimalizace je velice důležitá v dokončování procesu pájení pro vytvoření jemnozrnné struktury, minimalizace tloušťky intermetalických vrstev a křehkosti spoje [20].

Přesun DPS mezi zářiči a chlazením není v našem případě ideální, což se v grafech projevuje jako propad teploty, který je způsoben posouváním stolku s DPS nad chladicí zařízení. Při tomto pohybu ztratí termočlánek bezprostřední styk s testovací deskou, což se projeví jako okamžitý propad teploty v grafu. Tato skutečnost je způsobena nedokonalým připevněním termočlánků kaptonovou páskou.

V poslední části této práce bylo nutné optimalizované profily ověřit prakticky, k čemuž posloužilo experimentální zapájení BGA pouzdra pomocí optimalizovaného pájecího profilu bezolovnatou pájecí pastou typu SAC3-XF3. Tento profil byl zvolen vzhledem k materiálu použitých kuliček jímž byla pájka SAC305.

První zapájení pouzdra neproběhlo podle očekávání, tento výsledek byl způsoben nevhodným postupem při nanášení kuliček na pouzdro BGA. Při přetavení se kuličky pájky spojily s okolními, což bylo zapříčiněno pohybem kuliček na tavidle, do kterého byly kuličky osazeny. Druhý postup byl sofistikovanější, pro nanášení kuliček byla použita šablona. Následovalo přetavení BGA pouzdra umístěného v šabloně a po přetavení se pouzdro sesadilo s testovací DPS pomocí zařízení FRITSCH. Takto přesně sesazené obě části byly následně přetaveny opravárenskou stanicí IR 400 a potom zchlazeny ventilátorem. Výsledek přetavení je uspokojivý a lze konstatovat, že takto upravenou pájecí stanicí lze pájet a opravovat i tak složitá pouzdra jako BGA.

Přínosem této práce je dosažení optimalizované montáže a demontáže různě složitých součástí na zařízení IR-400.

7 POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Szendiuch,I.: Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů, Nakladatelství VUT v Brně, VUTIUM, 2006. 379s. ISBN 80-214-3292-6
- [2] Starý, J.: „Plošné spoje a povrchová montáž“. [skripta] VUT Brno 2003
- [3] Circuit Technology Center [online]. 2009 [cit. 2009-10-06]. Dostupnost z WWW: [http://translate.google.cz/translate?hl=cs&sl=en&u=http://www.circuitrework.com/guides/guides.shtml&ei=C_JBS-3UOZbumgPF9bjHCA&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=1&ved=0CAkQ7gEwAA&prev=/search%3Fq%3DRepair%2Band%2BRework%26hl%3Dcs%26lr%3D%26client%3Dfirefox-a%26rls%3Dorg.mozilla:cs:official%26sa%3DG]
- [4] ELECTROIQ [online]. 2009 [cit. 2009-10-06]. Dostupnost z WWW: [http://www.electroi.com]
- [5] SMT centrum [online]. 2007 [cit. 2009-10-11]. Dostupnost z WWW: [http://www.smtcentrum.cz/]
- [6] Ray Prasad Consultancy Group [online]. 2001 [cit. 2009-10-13]. Dostupnost z WWW: [http://www.rayprasad.com/home/rp1/page_88/repair_and_rework_requirements_for_smt_assemblies.html]
- [7] ELECTROIQ [online]. 2009 [cit. 2009-10-11]. Dostupnost z WWW: [http://www.electroi.com/index/display/smt-article-display/363499/articles/smt/surface-mount_technology/soldering/rework-and_hand_solder/2009/05/a-guide-to-infrared-ir-rework-on-bgas.html]
- [8] ERSA.: Návod k obsluze ERSA IR-500 A/IR-400 A
- [9] Smart s.r.o.: Návod k obsluze regulátoru R 500
- [10] Data sheed ATM1602B [online]. 2010 [cit.2011-4-5]. Dostupnost z WWW: [http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-128/dsh.513-128.1.pdf]
- [11] Data sheed PIC16F818/819 [online]. 2010 [cit.2011-4-5]. Dostupnost z WWW: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39598e.pdf]
- [12] Virius M.: 1001 tipů a triků pro C++, Nakladatelství Computer press, 2011. 472 stran. ISBN 978-80-251-2941-8
- [13] Bumba J.: Programování mikroprocesorů, Nakladatelství Computer press, 2011. 136 stran. ISBN 978-80-251-2838-1

- [14] Pandatron.cz [online]. 2000 [cit.2011-4-8]. Dostupnost z WWW:
[http://pandatron.cz/?154&skola_programovani_pic-10_dil]
- [15] Jak začít programovat procesor PIC [online]. 1998 [cit.2011-4-9]. Dostupnost z
WWW: [<http://doveda.by1.cz/begin/index.htm>]
- [16] OTÁHAL, A. Optimalizace procesu pájení na zařízení IR-400. Brno: Vysoké učení
technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 52s.
Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc.
- [17] Katalogový list pájecí pasty S6M-XM35. [cit. 2011-5-23]. Dostupný z WWW:
[http://www.cobar.com/userguides_download.asp?id=53]
- [18] Katalogový list pájecí pasty SAC3-XF3. [cit. 2010-5-23]. Dostupný z WWW:
[http://www.cobar.com/userguides_download.asp?id=55]
- [19] Texas Instruments: „Microstar BGA packaging reference guide”. c2000. [cit. 2011-5-
25]. Dostupný z WWW: [<http://focus.ti.com/lit/wp/ssyz015b/ssyz015b.pdf>]
- [20] Starý, J.: „Montážní a propojovací technologie“.[skripta] VUT Brno
- [21] VALA, R. *Optimalizace procesu opakovaného pájení při opravách v povrchové
montáži*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a
komunikačních technologií, 2010. 24 s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Ivan
Szendiuch, CSc.

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1: Teplotní profil pro pájení přetavením s vyznačením důležitých parametrů [1]	10
Obr. 2: Poškozená cesta [3].....	15
Obr. 3: Odstranění poškozené cesty [3]	15
Obr. 4: Vytvarování nové cesty [3].....	15
Obr. 5: Vodivé spojení cesty [3]	15
Obr. 6: Poškozený prokov [3]	16
Obr. 7: Opravený prokov [3].....	16
Obr. 8: Vybrání místa pro odstranění povlaku [3].....	16
Obr. 9: Použití rozpouštědla s pěnou[3].....	16
Obr. 10: Odstranění pomocí nože [3].....	16
Obr. 11: Odstranění povlaku broušením [3]	16
Obr. 12: Plastové provedení pouzdra BGA [1]	19
Obr. 13: Keramické provedení pouzdra BGA [1].....	19
Obr. 14: Zkrat mezi vývody BGA.....	20
Obr. 15: Opravárenská stanice IR-400	22
Obr. 16: Zapojení svorek na zadní straně plně osazeného regulátoru [9]	24
Obr. 17: Čelní panel regulátoru [9]	25
Obr. 18: Základní schéma programu řízeného pouze časem [9].....	25
Obr. 19: Základní schéma programu řízeného strmostí a časem [9]	26
Obr. 20: Zapojení mikrokontroleru PIC 16F818.....	28
Obr. 21: Zapojení displeje	29
Obr. 22: Zkonstruované chlazení ventilátorem	31
Obr. 23: Vodivý motiv testovací DPS (materiál FR4).....	33
Obr. 24: Částečně osazená testovací DPS pro optimalizaci pájecího profilu.....	33
Obr. 25: Umístění termočlánků na testovací DPS.....	35
Obr. 26: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu S6M-XM35 bez chlazení	36
Obr. 27: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu S6M-XM35 s chlazením 50 %	36
Obr. 28: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu S6M-XM35 s chlazením 100 %	37
Obr. 29: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu SAC3-XF3 bez chlazení	38
Obr. 30: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu SAC3-XF3 s chlazením 50%	38
Obr. 31: Optimalizovaný pájecí profil pro pájecí pastu SAC3-XF3 s chlazením 100 %	39
Obr. 32: Základní deska počítače po demontáži pouzdra BGA.....	40
Obr. 33: Pouzdro BGA po demontáži.....	41
Obr. 34: Ruční osazení kupiček pájky SAC305.....	41
Obr. 35: Dokončení osazení kuliček pájky SAC305	41

Obr. 36: Reboling přes šablonu.....	42
Obr. 37: BGA pouzdro po přetavení.....	42
Obr. 38: Sesazení na stanici FRITSCH.....	42
Obr. 39: Testová deska s BGA pouzdrům po přetavení.....	43
Obr. 40: Vadný sektor zjištěný metodou spojování sériových vývodů	43
Obr. 41: Vývod BGA pouzdra po přetavení.....	44
Tabulka 1: Standardní typy pájek pro elektroniku [1].....	12
Tabulka 2: Propojení konektoru K1	29
Tabulka 3: Zapojení vývodů displeje [10]	30
Tabulka 4: Nastavení otáček	31
Tabulka 5: Parametrů pájecích past [17],[18]	32
Tabulka 6: Parametry programů regulátoru a výšky DPS pro optimalizované pájecí profily na korundové keramice[16]	35

SEZNAM POUŽITÝCH SKRATEK

DPS – deska plošných spojů

CC – Chip Carrier (pouzdra čtvercového nebo obdélníkového tvaru s vývody pro povrchovou montáž ve tvaru plošek nebo s páskovými vývody)

BGA – Ball Grid Array (pouzdra s kulovými vývody umístěnými na spodní straně pouzdra)

PLCC – Plastic Leader Chip Carrier (CC v plastovém provedení s páskovými vývody)

QFP – Quad Flat Pack (pouzdra s páskovými vývody na všech čtyřech stranách)

SSR – polovodičové relé

SMD – Surface Mouted Device (součástky pro povrchovou montáž)

SMT – Surface Mouted Technoloy (technologie povrchové montáže)

PWM – Pulzně šířková modulace

GND – mínusový potenciál (zem)

LCD – Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)

Repair – oprava

Rework – procesní oprava

SEZNAM PŘÍLOH

Na CD:

Příloha č.1 – Program k mikrokontroleru

Příloha č.2 – Návrh DPS pro mikrokontroler v programu Eagle

Příloha č.3 – Návrh DPS pro displej v programu Eagle

Příloha č.4 – Data sheet PIC 16F818/819

Příloha č.5 – Katalogový list pájecí pasty S6N-XM35

Příloha č.6 – Katalogový list pájecí pasty SAC3-XF3

Příloha č.7 – Fotky zapájeného pouzdra BGA z Ersascope